

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Dino Math

Zagreb, 2015. godina.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Mentor:

Doc.dr.sc Damir godec, dipl.ing

Student:

Dino Math

Zagreb, 2015. godina.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći stečena znanja tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem najviše svome mentoru doc. dr.sc. Damiru Godecu, što mi je pružio veliku pomoć kod odabira teme za magistarski rad i na ukazanom strpljenju i mnogim drugim korisnim savjetima tijekom izrade ovog diplomskog rada. Zahvaljujem se i svim kolegama s kojima sam imao privilegiju studirati. Zahvala ide i mojim roditeljima koji si me podržavali tijekom preddiplomskog i diplomskog studija,

Dino Math



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:
proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment, inženjerstvo
materijala i mehatronika i robotika

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **DINO MATH** Mat. br.: 0035178038

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **KONSTRUIRANJE KALUPA ZA INJEKCIJSKO PREŠANJE ZAŠTITNE MASKE MOBITELA**

Naslov rada na engleskom jeziku: **DESIGN OF MOULD FOR INJECTION MOULDING OF MOBILE PHONE PROTECTIVE MASK**

Opis zadatka:

Injekcijsko prešanje najvažniji je postupak prerade polimera. Jedan od razloga je u činjenici kako omogućuje izradu proizvoda vrlo kompliciranih oblika, što mu daje široke mogućnosti primjene. Za injekcijsko prešanje polimera nužno je raspolagati sustavom za injekcijsko prešanje kojeg čine ubrizgavalica, kalup i temperiralo. Kalup za injekcijsko prešanje polimera pri tome predstavlja središnji, specifični i vitalni dio tog sustava, stoga je tijekom njegovog razvoja potrebno posvetiti posebnu pozornost na ispravan izbor konstrukcijskih rješenja te na dimenzioniranje elemenata kalupa.

U radu je potrebno sistematizirano prikazati faze razvoja kalupa za injekcijsko prešanje polimera, te na temelju teorijskih spoznaja o metodičkom konstruiranju, konstruirati kalup za injekcijsko prešanje zaštitne maske mobitela.

Zadatak zadan:

7. svibnja 2015.

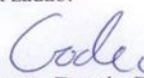
Rok predaje rada:

9. srpnja 2015.

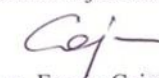
Predviđeni datum obrane:

15., 16. i 17. srpnja 2015.

Zadatak zadao:


Doc. dr. sc. Damir Godec

Predsjednik Povjerenstva:


Prof. dr. sc. Franjo Cajner

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
POPIS SLIKA	IV
POPIS TABLICA.....	VI
POPIS OZNAKA	VII
SAŽETAK.....	XIII
SUMMARY	XIV
1. UVOD.....	1
2. INJEKCIJSKO PREŠANJE POLIMERA	2
2.1. Općenito	2
2.2. Linija za injekcijsko prešanje.....	2
3. KALUP ZA INJEKCIJSKO PREŠANJE PLASTOMERA	9
3.1. Funkcija kalupa za injekcijsko prešanje polimera	9
3.2. Elementi kalupa za injekcijsko prešanje	10
3.2.1. Kalupna šupljina	10
3.2.2. Kućište kalupa.....	12
3.2.2.1. Pravokutna kućišta kalupa	13
3.2.2.2. Okrugla kućišta kalupa	15
3.2.3. Uljevni sustav.....	16
3.2.3.1. Čvrsti uljevni sustav.....	17
3.2.3.2. Vrući uljevni sustav	18
3.2.4. Sustav za temperiranje kalupa	21
3.2.5. Sustav za vađenje otpreska iz kalupa.....	22
3.2.5.1. Vađenje otpreska iz kalupa pomoću izbacivala	22
3.2.5.2. Sustavi za vađenje otpreska iz kalupa s pomoću stlačenog zraka	23
3.2.5.3. Sustavi za vađenje iz kalupa otpresaka s podrezima	24
3.2.6. Sustav za vođenje i centriranje kalupa.....	25
3.2.7. Sustav za odzračivanje kalupa	26
4. METODIČKO KONSTRUIRANJE KALUPA ZA INJEKCIJSKO PREŠANJE PLASTOMERA.....	27
4.1. Faza razrade koncepcije kalupa	27
4.1.1. Prethodno načelno određivanje položaja otpreska u kalupu	29
4.1.2. Određivanje broja kalupnih šupljina	29
4.1.3. Određivanje rasporeda kalupnih šupljina.....	29
4.1.4. Načelno određivanje kućišta kalupa	30
4.1.5. Procjena izmjera kalupa	30
4.1.6. Načelno određivanje uljavnog sustava i ušća	30
4.1.7. Načelno određivanje sustava za temperiranje kalupa	30
4.1.8. Načelno određivanje sustava za vađenje otpreska iz kalupa.....	31
4.1.9. Načelno određivanje sustava za vođenje i centriranje elemenata kalupa	31
4.1.10. Načelno određivanje sustava za odzračivanje kalupne	31
4.1.11. Načelno određivanje posebnih elemenata kalupa	31

4.1.12. Optimiranje ostvarivih kombinacija načelnih rješenja parcijalnih funkcija kalupa	39
4.1.13. Provjera položaja otpreska u kalupu	40
4.1.14. Procjena troškova izradbe kalupa	40
4.2. Dimenzioniranje elemenata kalupa	40
4.2.1. Reološki proračuna kalupa.....	42
4.2.1.1. Određivanje potrebnog pritiska u kalupnoj šupljini.....	42
4.2.1.2. Dimenzioniranje uljevnog sustava kalupa i proračun pada pritiska u uljevnom sustavu	42
4.2.1.3. Određivanje izmjera uljevnog sustava	42
4.2.1.4. Proračuna pada tlaka u uljevnom sustavu	43
4.2.2. Toplinski proračun kalupa	45
4.2.3. Mehanički proračuna kalupa	53
4.3. Završne aktivnosti konstruiranja kalupa	55
5. PRORAČUN NEPOTPUNE CIJENE KOŠTANJA OTPRESKA	56
5.1. Struktura cijene proizvoda	56
5.2. Struktura nepotpune cijene koštanja otpreska [6]	56
5.2.1. Troškovi konstruiranja kalupa	57
5.2.1.1. Razvoj otpreska [6]	57
5.2.1.2. Postupak konstruiranja kalupa [6]	57
5.2.1.3. Određivanje troškova konstruiranja kalup [6]	57
5.2.2. Troškovi izradbe kalupa.....	58
5.2.2.1. Cijena kalupa [6].....	58
5.2.2.2. Postupci određivanja cijene kalupa [6]	59
5.2.3. Troškovi kontrole i probnog rada kalupa [6]	59
5.2.3.1. Kontrola i dorada kalupa.....	59
5.2.3.2. Probni rad kalupa	61
5.2.4. Trošak eksploatacije kalupa [6]	61
5.2.4.1. Održavanje kalupa	61
5.2.4.2. Cijena materijala za jedan otpresak	63
5.2.4.3. Trošak rada ubrizgavalice	63
5.2.4.4. Trošak rada radnika.....	64
5.2.4.5. Proizvodna cijena jednog otpreska proizvodne serije.....	64
5.2.4.6. Prosječna cijena otpreska probne (nulte) i proizvodne serije	64
5.2.5. Nepotpuna cijena koštanja po otpresku	65
6. METODIČKO KONSTRUIRANJE KALUPA ZA INJEKCIJSKO PREŠANJE PLASTOMERNE MASKE ZA MOBITELE	66
6.1. Uvod.....	66
6.2. Konceptijsko oblikovanje kalupa	68
7. PRORAČUN KALUPA	76
7.1. Provjera tehničnosti otpreska i simulacija procesa	77
7.1.1. Reološki proračuna kalupa.....	83
7.1.1.1. Određivanje potrebnog tlaka u kalupnoj šupljini.....	83
7.1.2. Proračun sile držanja kalupa	83
7.1.3. Proračun vremena hlađenja otpreska	84
7.1.4. Proračun temperatura ciklusa injekcijskog prešanja	86
7.1.5. Temperatura i toplinska svojstva medija za temperiranje.....	87

7.1.6.	Proračun toplinske bilance kalupa	88
7.1.6.1.	Toplina koju plastomerna taljevina dovede kalupu	88
7.1.6.2.	Toplina koju kalup razmijeni s okolinom	89
7.1.7.	Dimenzioniranje sustava za temperiranje kalupa.....	90
7.1.8.	Brzina protoka medija za temperiranje [11]	92
7.2.	Mehanički proračuna kalupa	95
7.2.1.	Proračun kinematike kalupa.....	95
7.2.2.	Sila vađenja otpreska iz kalupa	96
7.2.3.	Proračun krutosti kalupa u smjeru otvaranja.....	96
8.	PRORAČUN NEPOTPUNE CIJENE KOŠTANJA OTPRESKA	97
8.1.	Osnovni podaci	97
8.2.	Troškovi konstruiranja	98
8.3.	Troškovi izrade kalupa	98
8.4.	Troškovi održavanja za jedan otpresak	101
8.5.	Troškovi probne (nulte) serije	102
8.5.1.	Cijena materijala za probnu seriju	102
8.5.2.	Cijena ubrizgavalice za probnu seriju	102
8.5.3.	Cijena rada za probnu seriju	102
8.5.4.	Proizvodna cijena otpresaka probne serije.....	103
8.6.	Troškovi proizvodnje	103
8.6.1.	Cijena materijal za proizvodnu seriju	103
8.6.2.	Cijena ubrizgavalice za proizvodnu seriju	103
8.6.3.	Cijena rada za proizvodnu seriju.....	104
8.6.4.	Proizvodna cijena otpresaka proizvodne serije	104
8.6.5.	Prosječna cijena otpreska probne (nulte) i proizvodne serije	104
9.	ZAKLJUČAK.....	106
10.	LITERATURA	107
11.	PRILOZI.....	108
11.1.	CD-R disc.....	108
11.2.	Radionički crtež maske za mobitel	108
11.3.	Vizualni prikaz kalupa za injekcijsko prešanje zadanog otpreska	108
11.4.	Crtež kalupa	108

POPIS SLIKA

Slika 2.1 Ubrizgavalica [1].....	3
Slika 2.2 Kalup za injekcijsko prešanje plastomera [1]	5
Slika 2.3 Tijek tlaka u dijagramu $p-v-T$ [3]	7
Slika 3.1 Kalup za injekcijsko prešanje sa osnovnim dijelovima [4].....	9
Slika 3.2 Elementi kućišta kalupa [5].....	13
Slika 3.3 Europa sustav spajanja ploča kućišta kalupa[5],[6]	14
Slika 3.4 Standardni sustav spajanja ploča kućišta kalupa [5],[6]	14
Slika 3.5 N tip ploča kućišta kalupa [5]	15
Slika 3.6 Q tip ploča kućišta kalupa [5]	15
Slika 3.7 Okruglo kućište kalupa [5].....	16
Slika 3.8 Elementi čvrstog uljevnog sustava [9]	18
Slika 3.9 Kalup s vrućim uljevnim sustavom: a) mlaznica s ventilom, b) otvorena mlaznica [5]	18
Slika 3.10 Najčešći oblici izbacivala [8].....	23
Slika 3.11 Kalup s kliznicima i kosim izvlačilima	25
Slika 3.12 Sustav za odzračivanje kalupa[6].....	26
Slika 4.1 Temeljne faze konstruiranja kalupa za injekcijsko prešanje plastomera [3]	27
Slika 4.2 Aktivnosti faze razrade koncepcije kalupa [6].....	28
Slika 4.3 Dijagram za načelno određivanje položaja otpreska u kalupu [5]	32
Slika 4.4 Dijagram odlučivanja za načelno određivanje kućišta kalupa [5]	33
Slika 4.5 Dijagram za načelno određivanje uljevnog sustava i ušća [5]	34
Slika 4.6 Dijagram odlučivanja za načelno određivanje sustava za temperiranje kalupa [5] ..	35
Slika 4.7 Dijagram za načelno određivanje sustava za vađenje grozda iz kalupa [5].....	36
Slika 4.8 Dijagram za načelno određivanje sustava za vođenje i centriranje [5].....	37
Slika 4.9 Dijagram za načelno određivanje sustava za ozračivanje kalupa[5].....	38
Slika 4.10 Faza dimenzioniranja elemenata kalupa[5].....	41
Slika 4.11 Kriteriji određivanja temperature postojanosti oblika otpreska [5]	47
Slika 4.12 Analiza ciklusa injekcijskog prešanja [1]	48
Slika 4.13 Temperaturno polje stijenke kalupne šupljine [5].....	49
Slika 4.14 Toplinska bilanca kalupa [5]	51
Slika 4.15 Debljina stijenke kalupne šupljine [11]	52
Slika 5.1 Ovisnost pouzdanosti i učestalosti kvarova kalupa o vremenu [6]	62
Slika 6.1 3D model maske.....	66
Slika 6.2 Dijagram odlučivanja za načelno određivanje položaja otpreska u kalupu	69
Slika 6.3 Dijagram odlučivanja za načelno određivanje kućišta kalupa	70
Slika 6.4 Dijagram odlučivanja za načelno određivanje uljevnog sustava i ušća	71
Slika 6.5 Dijagram odlučivanja za načelno određivanje sustava za temperiranje	72
Slika 6.6 Dijagram odlučivanja za načelno određivanje sustava za vađenje otpreska.....	73
Slika 6.7 Dijagram odlučivanja za načelno određivanje sustava za vođenje i centriranje.....	74
Slika 6.8Dijagram odlučivanja za načelno određivanje sustava za odzračivanje kalup	75
Slika 7.1 Vrijeme punjenja kalupne šupljine	77
Slika 7.2 Kvaliteta ispunjenja kalupne šupljine	77
Slika 7.3 Predviđena kvaliteta otpreska	78
Slika 7.4 Tlak u kalupnoj šupljini	78
Slika 7.5 Razdioba pada tlaka u uljevnom sustavu i kalupnim šupljinama	79

Slika 7.6 Razdioba temperature čela taljevine	79
Slika 7.7 Prosječna temperatura	80
Slika 7.8 Linije spajanja – uključine zraka	80
Slika 7.9 Procjena pojava udubina	81
Slika 7.10 Kvaliteta hlađenja	81
Slika 7.11 Temperaturna varijanca.....	82
Slika 7.12 Varijanca vremena hlađenja.....	82
Slika 7.13 $P - v - t$ dijagram za SABIC PP 571 P	83
Slika 8.1 Umetci desno, pomična strana;umetci lijevo nepomična strana	100
Slika 11.1 Model kalupa 1.....	109
Slika 11.2 Model kalupa 2.....	109
Slika 11.3 Model kalupa 3.....	109

POPIS TABLICA

Tablica 2.1 Faze injekcijskog prešanja [2]	4
Tablica 3.1 Temeljni slučajevi rasporeda kalupnih šupljina [5]	11
Tablica 3.2 Veličine koje utječu na uljevni sustav [7]	17
Tablica 3.3 Sistematizacija čvrstih ušća [5]	19
Tablica 4.1 Međusobni utjecaj parcijalnih funkcija kalupa na mogućnost njihovog ostvarivanja [5]	39
Tablica 4.2 Preporuke za okvirne izmjere tunelnih ušća [5]	43
Tablica 4.3 Koeficijenti unutrašnjosti i oblika za različite oblike otpreska [5]	47
Tablica 5.1 Struktura cijene koštanja otpreska [6]	56
Tablica 6.1 Svojstva PP 571 P [12]	67
Tablica 6.2 Izmjere otpreska	68
Tablica 7.1 Karakteristike ubrizgavalice [13]	76
Tablica 7.2 Podatci za reološki proračun kalupa	84
Tablica 7.3 Podatci za proračun vremena hlađenja	84
Tablica 7.4 Karakteristike medija za temperiranje	88
Tablica 8.1 Podatci i dijelovima kalupa i njihovim cijenama	99

POPIS OZNAKA

Oznaka	Veličina	Jedinica
A_1	- površina jedne stranice kalupa	m^2
A_{KS}	- tlocrtna površina steznih ploča ubrizgavalice	m^2
A_{KT}	- površina kanala za temperiranje	m^2
A_O	- površina elemenata kalupne šupljine u dodiru s otpreskom	m^2
A_i	- poprečni presjek izbacivala	m^2
$A_{kš}$	- površina projekcije kalupne šupljine u smjeru otvaranja kalupa	m^2
A_u	- površina poprečnog presjeka ušća	m^2
a	- razmak između središnje osi gornjih vodilica i vodoravne osi	m
a_1	ubrizgavalice	$m^2 s^{-1} K^{-1}$
a_2	- koeficijent	-
a_3	- koeficijent za izračunavanje razlike entalpija	-
a_{ef}	- koeficijent za izračunavanje razlike entalpija	m^2/s
a_w	- efektivna toplinska difuznost	m^2/s
H_{KS}	- toplinska difuznost vode	m
B_K	- širina steznih ploča kalupa	m
b	- širina kalupnih ploča	m
b_1	- razmak između kanala za temperiranje	$m^2 s^{-1} K^{-1}$
b_2	- koeficijent	-
b_3	- koeficijent za izračunavanje razlike entalpija	-
b_K	- koeficijent za izračunavanje razlike entalpija	$Ws^{1/2} m^{-2} K^{-1}$
b_P	- toplinska prodornost materijala elemenata kalupa koji oblikuju kalupnu šuplinu	$Ws^{1/2} m^{-2} K^{-1}$
b_o	- toplinska prodornost plastomerne taljevine	m
b_{tp}	- širina otpreska	m
b_s	- razmak između odstoynih letvi kalupa	m
C_Z	- širina segmenta	$W/m^2 K$
C_{izi}	- zračivost apsolutno crnog tijela	kn
C_m	- prosječna cijena radnog sata obradbe	kn/kg
$C_{m,ser}$	- ukupna jedinična cijena materijala	kn
C_{mo}	- ukupna cijena materijala za proizvodnu seriju	kn
C_{mPS}	- cijena materijala za jedan otpresak	kn
C_o	- ukupna cijena materijala za probnu seriju	kn
$C_{o,ser}$	- konačna, nepotpuna cijena koštanja po otpresku	kn
$C_{o,serOD}$	- proizvodna cijena jednog otpreska proizvodne serije	kn
C_{om}	- troškovi održavanja za jedan otpresak	kn/kg
C_{oPR}	- jedinična cijena osnovnog materijala	kn
C_{oPS}	- prosječna cijena otpreska probne (nulte) i proizvodne serije	kn
C_r	- proizvodna cijena jednog otpreska probne serije	kn/kg
$C_{r,ser}$	- jedinična cijena regenerata	kn
C_{rki}	- ukupni trošak rada za proizvodnu seriju	kn
C_{ro}	- cijena radnog sata za pojedinu fazu konstruiranja	kn
C_{rPS}	- trošak rada za jedan otpresak	kn

C_{rs}	- ukupni trošak rada za probnu seriju	kn/h
C_{ru}	- cijena radnog sata radnika	kn/h
$C_{s,ser}$	- cijena radnog sata ubrizgavalice	kn
C_{sdi}	- cijena ubrizgavalice za proizvodnu seriju	kn
C_{so}	- cijena pojedinog standardnog elementa	kn
C_{sPS}	- cijena ubrizgavalice za jedan otpresak	kn
C_z	- cijena ubrizgavalice za probnu seriju	W/m ² K
c_K	- zračivost apsolutno crnog tijela	J/kgK
c_P	- specifični toplinski kapacitet materijala kalupnih ploča	J/kgK
c_W	- specifični toplinski kapacitet polimera	J/kgK
D_h	- specifični toplinski kapacitet vode	m
d	- hidraulički promjer segmenta uljevnog sustava	m
$d_{uš}$	- promjer segmenta uljevnog sustava	m
d_m	- srednji promjer ušća	m
d_n	- srednji promjer vodeće plohe	m
d_{pv}	- promjer mlaznice	m
d_{uk}	- promjer pužnog vijka	m
d_{vj}	- promjer uljevnog kanala	m
E_r	- vanjski promjer jezgre	N/m ²
E_s	- modul rastezljivosti	N/m ²
F_2	- modul savitljivosti	N
F_O	- sila okomita na F_1	N
F_d	- sila otvaranja kalupa	N
F_t	- sila držanja kalupa	N
F_u	- sila trenja po obodu jezgre	N
f	- sila ubrizgavanja	-
f_1	- faktor tečenja materijala	m
f_2	- progib dna ploče	m
f_{max}	- progib stranice kalupne ploče	m
f_{tp}	- maksimalni progib stijenke kalupne šupljine	m
G	- dopušteni progib temeljne ploče	N/m ²
G_{OR}	- modul smičnosti materijala stijenke kalupne šupljine	h
H_K	- organizacijski gubici prototipne serije	m
H_{Umax}	- visina kalupnih ploča	m
h	- maksimalni razmak steznih ploča ubrizgavalice	m
h_1	- izmjera kalupne šupljine na kojoj djeluje tlak u kalupnoj šupljini - specifična entalpija pri prosječnoj temperaturi otpreska u trenutku njegova napuštanja kalupa	J/kg
h_{OK}	- specifična entalpija pri temperaturi i tlaku preradbe	m
h_{Umin}	- potrebno otvaranje kalupa	m
h_d	- minimalni potrebni razmak steznih ploča ubrizgavalice	m
h_{di}	- dodatno otvaranje kalupa	m
h_g	- dopunski (sigurnosni) hod izbacivala	m
h_i	- visina grozda	m
h_o	- duljina puta izbacivala	m
h_{op}	- visina otpreska	m

h_{tp}	- visina otpreska u pomičnom dijelu kalupa	m
h_u	- debljina (visina) temeljne ploče	m
K_O	- visina uljevka	-
K_{OT}	- koeficijent oblika otpreska	kg/m s ^{1-m}
K_U	- konstanta plastomernog materijala	-
L_K	- koeficijent unutrašnjosti otpreska	m
L_{KS}	- duljina kalupa	m
L_s	- duljina stezne ploče kalupa	m
l_{KT}	- duljina segmenta	m
$l_{uš}$	- duljina kanala za temperiranje	m
l_j	- duljina ušća	m
l_n	- duljina jezgre	m
l_s	- duljina mlaznice	m
l_{uk}	- srednji put tečenja	m
l_{us}	- duljina uljevnog kanala	m
l_{tp}	- duljina segmenta uljevnog sustava	m
m	- duljina temeljne ploče	-
m_K	- eksponent tečenja plastomerne taljevine	kg
m_g	- masa kalupa	kg
m_o	- masa grozda	kg
m_{us}	- masa otpreska	kg
n_K	- masa uljevnog sustava	-
n_{KT}	- broj kalupnih šupljina	-
n_{KU}	- broj kanala za temperiranje	-
n_{izi}	- broj umetaka u kalupnoj šupljini	h
n_r	- broj sati pojedine operacije obradbe	-
n_{rki}	- broj radnika	h
n_{sdi}	- broj radnih sati za pojedinu fazu konstruiranja	kom
n_{ser}	- količina pojedinog standardnog elementa	kom
n_{serPS}	- veličina serije	kom
n_{uk}	- veličina probne serije	kom
P_{Pef}	- ukupna količina otpresaka	W
P_{VS}	- efektivno potrebna snaga pumpe	W
P_g	- instalirana snaga vrućeg uljevnog sustava	W
P_h	- snaga (učin) grijanja	W
P_r	- snaga (učin) hlađenja	-
P_{rw}	- Prandtlova značajka	-
p_K	- Prandtlova značajka vode	Pa
p_{Kx}	- tlak u kalupnoj šupljini	N/m ²
p_O	- pritisak u kalupnoj šupljini u smjeru otvaranja kalupa	Pa
p_R	- okolišni tlak	N/m ²
p_T	- predtlak u kalupnoj šupljini	N/m ²
p_u	- tlak plastomerne taljevine	N/m ²
Q_K	- pritisak ubrizgavanja	N
Q_n	- težina kalupa	kom
q	- veličina serije otpresaka	W

q_w	- prosječni toplinski tok	m^3/s
q_p	- protok vode za temperiranje	m^3/s
q_{max}	- količina prerađenog plastomernog materijala	W
q_{min}	- maksimalni toplinski tok između kanala za temperiranje i otpreska	W
q_v	- minimalni toplinski tok između kanala za temperiranje i otpreska	m^3/s
R_e	- obujamni protok plastomerne taljevine	-
R_{ew}	- Reynoldsov broj	-
S_L	- Reynoldsov broj vode	%
S_V	- skupljanje	%
S_{ot}	- stezanje	m^2
S_u	- ploština otpres(a)ka	%
S_{us}	- predvidivi dio škarta	m^2
s	- ploština uljevnog sustava	-
s_I	- faktor sigurnosti	m
s_K	- debljina izolacijske ploče	m
s_o	- debljina stijenke kalupne šupljine	m
s_p	- debljina stijenke otpreska	m
T_{oser}	- debljina stijenke kalupne ploče	kn
T_D	- troškovi održavanja kalupa za seriju	K
T_K	- dodirna temperatura	K
T_{KT}	- temperatura stijenke kalupne šupljine	K
T_M	- temperatura stijenke kanala za temperiranje	K
T_O	- temperatura medija za temperiranje	K
T_{OK}	- temperatura okoline	K
T_P	- temperatura otvaranja kalupa	K
T_{PO}	- temperatura podešavanja kalupa	K
T_S	- temperatura postojanosti oblika	K
T_T	- skrutište plastomera	K
T_{UK}	- temperatura plastomerne taljevine	kn
TVK	- ukupni troškovi izradbe kalupa	K
T_g	- temperatura vanjske stijenke kalupa	K
T_{iz}	- staklište	kn
Tom	- ukupna cijena obradbe kalupa	kn
Tsd	- ukupna cijena osnovnog materijala nestandardnih elemenata kalupa	kn
T_{serOD}	- ukupna cijena standardnih elemenata kalupa	kn
t_c	- predviđeni troškovi održavanja kalupa za proizvodnu seriju	s
t_{ζ}	- vrijeme ciklusa injekcijskog prešanja	s
t_h	- vrijeme čišćenja kalupa	s
t_{id}	- vrijeme hlađenja otpreska	s
t_{mp}	- dopunsko vrijeme vađenja otpreska	s
t_{mr}	- vrijeme približavanja mlaznice	s
t_{np}	- vrijeme vraćanja mlaznice ubrizgavalice u početni položaj	s
t_{os}	- vrijeme djelovanja naknadnog pritiska u kalupnoj šupljini	s
t_p	- strojno vrijeme otvaranja kalupa	s
\bar{t}_p	- pomoćno vrijeme ciklusa injekcijskog prešanja	h
t_{pz}	- srednje vrijeme između dva zastoja	h

t_u	- pripremno – završno vrijeme	s
t_z	- vrijeme ubrizgavanja	s
t_{zs}	- vrijeme zagrijavanja kalupa	s
V_o	- strojno vrijeme zatvaranja kalupa	m ³
V_u	- obujam otpreska	m ³
v	- obujam ubrizgavanja	m/s
v	- brzina tečenja plastomerne taljevine	m/s
v_u	- srednja brzina tečenja čela taljevine	m/s
x_{KT}	- brzina ubrizgavanja	-
x_k	- faktor površine kanala za temperiranje	-
x_s	- neimenovani broj	-
α_M	- faktor simetričnosti izmjene topline	W/m ² K
α_{St*}	- toplinska prijelaznost medija za temperiranje	W/m ² K
	- korigirani koeficijent toplinske prijelaznosti (obuhvaća zračenje i konvekciju)	°
α_n		°
α_{vp}	- kut uspona navoja	
β	- kut vodećeg utora	W/m ² K
β_{V*}	- temperaturni koeficijent	W/m ² K
β_{max}	- korigirani faktor proporcionalnosti	°
β_{min}	- maksimalni kut izoterma	°
ΔT_{MK}	- minimalni kut izoterma	K
$\Delta p_{uš}$	- temperaturni gradijent	N/m ²
Δp_n	- pad pritiska u ušću	N/m ²
Δp_{us}	- pad pritiska u mlaznici ubrizgavalice	N/m ²
Δp_{ulj}	- pad pritiska u uljevnom sustavu	N/m ²
Δp_{uk}	- pad pritiska u uljevku	N/m ²
Δp_s	- pad pritiska u uljevnom kanalu	N/m ²
Δp_{umin}	- pad pritiska u segmentu kalupne šupljine	N/m ²
Δp_{su}	- minimalni potrebni pritisak ubrizgavanja	N/m ²
ε_{dop}	- ukupni pad pritiska u uljevnom sustavu i kalupnoj šupljini	%
ε_{krit}	- dopuštena deformacija (izvijanje) izbacivala	%
ε_z	- kritična deformacija izbacivala	-
\emptyset_M	- sposobnost zračenja kalupnih ploča	W
\emptyset_O	- toplina izmijenjena s medijem za temperiranje u jedinici vremena	W
\emptyset_P	- toplina izmijenjena s okolinom u jedinici vremena	W
\emptyset_{PD}	- toplina koju plastomer preda kalupu u jedinici vremena	W
\emptyset_{Slj}	- toplinski tok dovođenja topline	W
	- toplina izmijenjena zračenjem i konvekcijom kroz sljubnicu kalupa u jedinici vremena	W
ϕ_{St}		W
	- toplina izmijenjena zračenjem i konvekcijom kroz stranice kalupa u jedinici vremena	W
\emptyset_V		W
	- toplina izmijenjena provođenjem kroz nosače kalupa ubrizgavalice u jedinici vremena	s ⁻¹
$\dot{\gamma}$		s ⁻¹
η	- smična brzina plastomerne taljevine	Pas
η_{VS}	- smična viskoznost	-
η_p	- korisnost vrućeg uljevnog sustava	-

φ	- korisnost pumpe	-
λ_l	- koeficijent oblika segmenta uljevnog sustava	W/mK
λ_K	- toplinska provodnost izolacijske ploče	W/mK
λ_p	- toplinska provodnost materijala kalupa	W/mK
λ_i	- toplinska provodnost polimera	W/mK
λ_w	- toplinska provodnost i-tog sloja kalupa	W/mK
μ	- toplinska provodnost vode	-
μ_p	- faktor trenja između plastomernog materijala i elemenata kalupne	%
v	šupljine	-
v_w	- pouzdanost postupka	m ² /s
ρ	- Poissonov faktor	°
ρ_A	- kinematička viskoznost vode za temperiranje	kg/m ³
ρ_K	- kut trenja	kg/m ³
ρ_M	- gustoća komponente mješavine medija za temperiranje	kg/m ³
ρ_T	- gustoća materijala kalupnih ploča	kg/m ³
ρ_w	- gustoća medija za temperiranje	kg/m ³
σ_{dop}	- gustoća polimerne taljevine	N/m ²
τ_{dop}	- gustoća vode	N/m ²
ξ	- dopušteno savojno naprezanje kalupnih ploča	N/m ²
τ	- dopušteno smično naprezanje kalupnih ploča	N/m ²

SAŽETAK

U ovome diplomskom radu prikazan je i objašnjen postupak injekcijskog prešanja. Prikazan je pregled svih standardnih dijelova kalupa za injekcijsko prešanje te je objašnjena njihova funkcija. S obzirom na to da se pri razvoju kalupa može služiti metodičkim pristupom, također je objašnjeno i opisano metodičko konstruiranje kalupa za injekcijsko prešanje. Provedeni su reološki, toplinski i mehanički proračuni kalupa, kao i proračun koštanja zadanog otpreska. Provedena je i simulacija punjenja kalupne šupljine.

Ključne riječi: Injekcijsko prešanje, metodičko konstruiranje, proračun, simulacija

SUMMARY

In this thesis the process of injection moulding is represented and explained. A review of the standard parts of the injection mould is made and their function is explained. In the construction of a mold we can approach from a methodological side and this methodological side is explained. Rheological, thermal and mechanical calculations have been made, as well as the budget cost for the molded part. A filling simulation for the part has been done.

Key words: Budget cost, calculation, injection moulding, methodological side

1. UVOD

Najvažniji ciklički postupak prerade polimera je injekcijsko prešanje polimera. Sustav za injekcijsko prešanje ima više dijelova, a središnji dio čini kalup. Najveća prednost injekcijskog prešanja je što se kompleksni proizvodi mogu napraviti u jednom komadu. Kalup je vitalan i najvažniji dio sustava za injekcijsko prešanje s obzirom na broj funkcija i važnost istih. Zbog mnogih zahtjeva koje mora zadovoljiti i funkcija koje mora izvršiti u procesu injekcijskog prešanja, pridodaje mu se najviše pažnje. O kvaliteti njegove konstrukcije i izrade ovisi i kvaliteta proizvoda - otpreska. Metodičkim konstruiranjem se osnovna funkcija kalupa raščlanjuje na finije strukture.

2. INJEKCIJSKO PREŠANJE POLIMERA

2.1. Općenito

Injekcijsko prešanje polimera ciklički je postupak praoblikovanja ubrizgavanjem polimerne tvari potrebne smične viskoznosti iz jedinice za pripremu i ubrizgavanje u temperiranu kalupnu šupljinu. Tvorevina, otpresak, postaje polireakcijom i/ili umreživanjem, geliranjem i/ili hlađenjem podobnom za vađenje iz kalupne šupljine. [1]

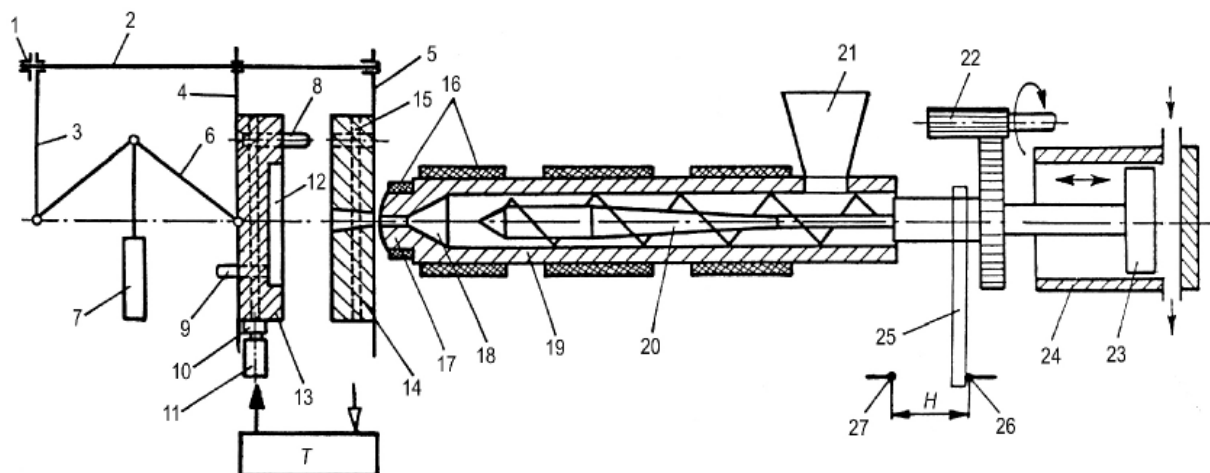
Injekcijski se mogu prešati niskoviskozne kapljevine (npr. epoksidne smjese ili smjese za proizvodnju integralnih poliuretanskih pjenastih tvorevina ili polimerne taljevine (povišena smična viskoznost). Otpresci mogu biti raličitih veličina , mase manje od miligrama do približno 180 kg. Injekcijsko prešanje prikladno je za proizvodnju vrlo kompliciranih otpresaka visoke dimenzijske stabilnosti (tolerancija od nekoliko mikrometara).

Zbog dostignutoga visokog stupnja automatiziranosti, moguća je neprekinuta proizvodnja dvadeset i četiri sata na dan, sedam dana u tjednu. Moguće je načiniti otpreske u više boja, kombinaciju krutoga i savitljivog dijela otpreska (tvrdo – meko), integralne pjenaste tvorevine itd. [1]

2.2. Linija za injekcijsko prešanje

Sustav za injekcijsko prešanje sastoji se od ubrizgavalice, kalupa i temperirala kalupa. Sama ubrizgavalica se pak sastoji od četiri jedinice: jedinice za pripremu i ubrizgavanje taljevine, jedinice za zatvaranje kalupa, pogonske jedinice i jedinice za vođenje i reguliranje. [1]

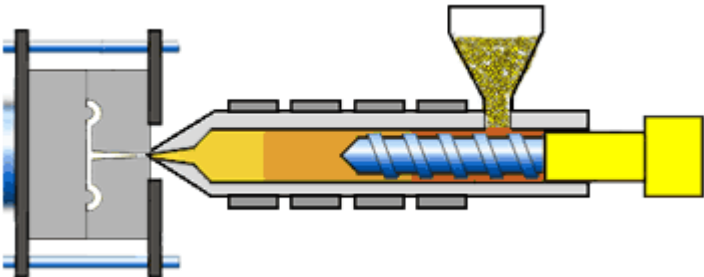
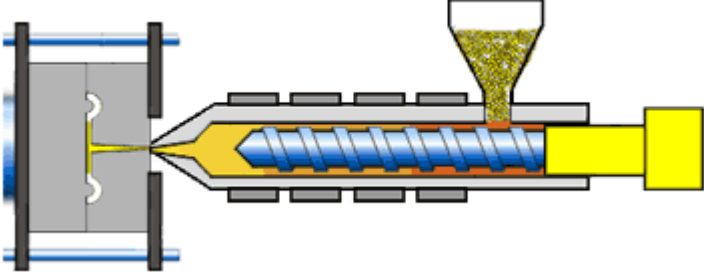
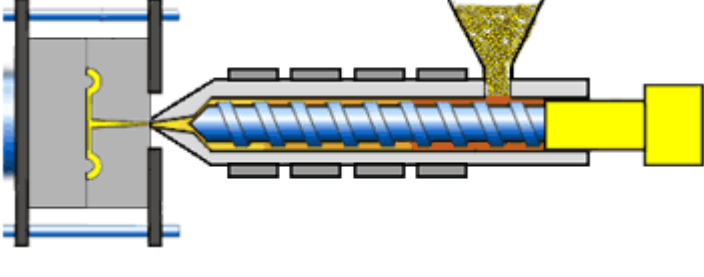
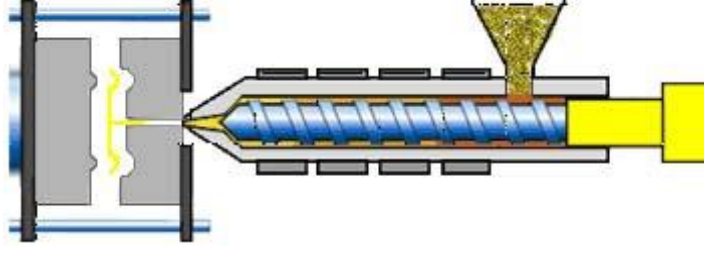
Slika 2.1 prikazuje ubrizgavalicu. Faze postupka injekcijskog prešanja objašnjene su u tablici 2.1.

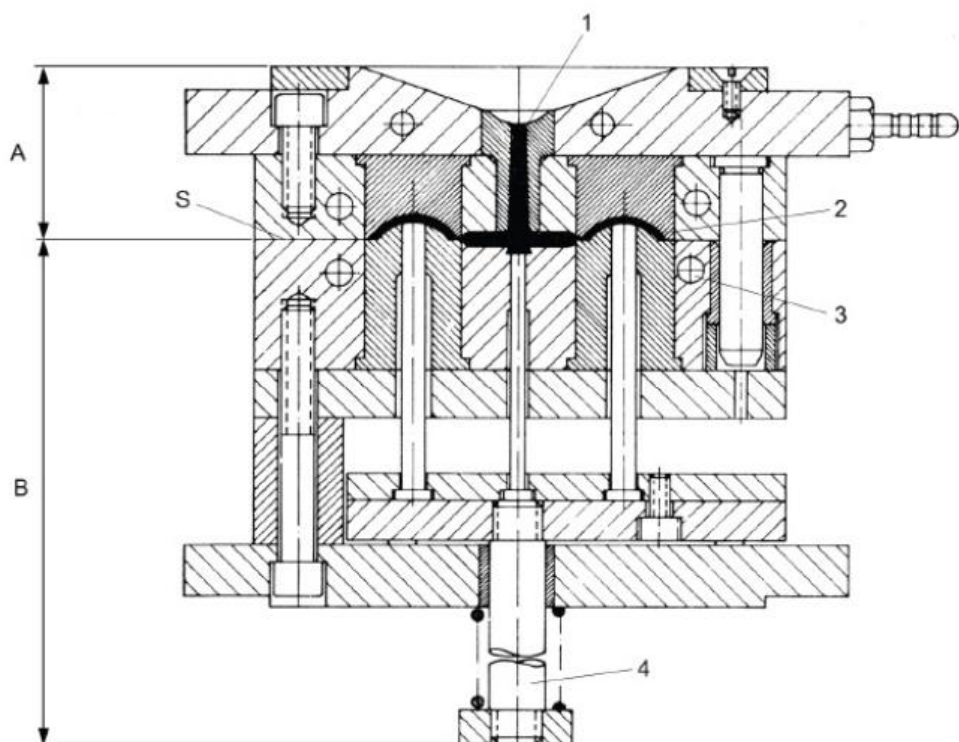


Slika 2.1 Ubrizgavalica [1]

Dijelovi ubrizgavalice su : 1 – matica za namještanje visine kalupa, 2 – priječnica, 3 – uporišna ploča, 4 – pomični nosač kalupa, 5 – nepomični nosač kalupa, 6 – kutne poluge, 7 – hidraulički cilindar, 8 – vodeći zatik, 9 – izbacivalo, 10 – priključak, 11 – gipka cijev, 12 – kalupna šupljina, 13 – pomični dio kalupa, 14 – nepomični dio kalupa, 15 – kanal za temperiranje, 16 – pojasno grijalo, 17 – mlaznica, 18 – sabirnica, 19 – cilindar za taljenje, 20 – pužni vijak, 21 – lijevak, 22 – pogonski mehanizam pužnog vijka, 23 – hidraulički stap, 24 – cilindar za ubrizgavanje, 25 – pokretački slog – uklopni palac, 26 – stražnja krajnja sklopka, 27 – prednja krajnja sklopka; H – hod pužnog vijka, T – temperiralo [1]

Tablica 2.1 Faze injekcijskog prešanja [2]

	<p>Injekcijsko prešanje - faza 1</p> <p>Polimerni prah ili granule doziraju se kroz lijevak i dospijevaju u cilindar gdje ih zahvaća pužni vijak. Toplina dovedena grijalima i ona dobivena vrtnjom pužnoga vijka, zagrijevaju i tale polimerni materijal.</p>
	<p>Injekcijsko prešanje - faza 2</p> <p>Tijekom pripreme polimerna taljevina sakuplja se ispred vrha pužnog vijka koji biva potisnut unatrag.</p>
	<p>Injekcijsko prešanje - faza 3</p> <p>Kada se pripremi dovoljno polimerne taline, zaustavlja se rotacija pužnoga vijka nakon čega hidraulički sustav potiskuje pužni vijak i dolazi do ubrizgavanja taline u kalupnu šupljinu.</p>
	<p>Injekcijsko prešanje - faza 4</p> <p>Nakon ubrizgavanja održava se pritisak (naknadni pritisak) dok otpresak ne očvrсне, nakon čega se kalup otvara i vadi se polimerni otpresak.</p>



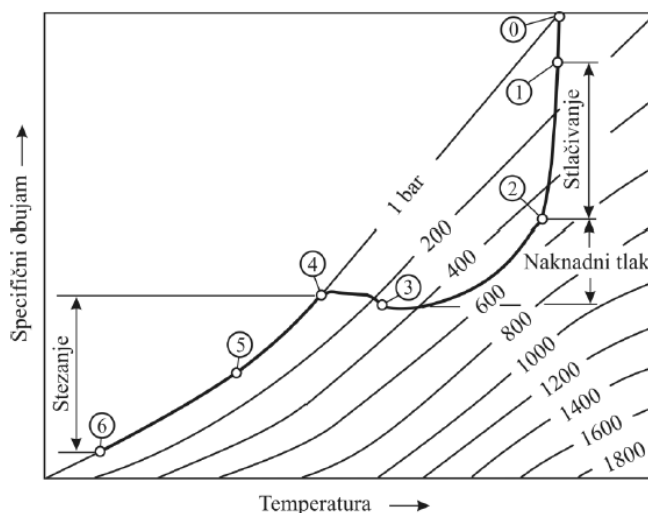
Slika 2.2 Kalup za injekcijsko prešanje plastomera [1]

Slika 2.2 prikazuje tipičan primjer kalupa za injekcijsko prešanje plastomera. A je nepomični dio kalupa, a B je pomični dio kalupa. S označava sljubnicu. 1 – uljevna šupljina, 2 – kalupna šupljina, 3 – kanal za temperiranje, 4 – potiskivalo.

Proračun i dimenzioniranje uljevnog sustava vrlo su važni za uspješan tijek procesa. Posebno su bitni oblik i veličina ušća (suženja uljevnog kanala na ulazu u kalupnu šupljinu). Zadaća je ušća da sprječava povrat taljevine za vrijeme vraćanja pužnog vijka u početni položaj i suviše veliko stlačivanje taljevine tijekom naknadnog tlačenja i omogućavanje lakog odvajanja otpreska. Dijelovi kalupa koji omeđuju kalupnu šupljinu izrađuju se od čelika, bronce, mjedi i nekih drugih metala i polimera. Tijekom ubrizgavanja pužnom se vijku mora blokiranjem spriječiti vrtnja. Završetkom ubrizgavanja, kad su sve kalupne šupljine po mogućnosti istodobno popunjene, snižava se pritisak ubrizgavanja na naknadni pritisak. Pritisak ubrizgavanja definira se kao omjer sile ubrizgavanja i ploštine pužnog vijka u smjeru ubrizgavanja. Naknadni pritisak sprječava povratak taljevine iz kalupa. Pri injekcijskom prešanju plastomera naknadni pritisak djeluje do trenutka kad se spojno mjesto između kalupne šupljine i uljevnog sustava toliko hladi i očvrstne da više nije moguć protok taljevine.

Vrijeme hlađenja plastomernog otpreska i vrijeme očvršćivanja plastomernog otpreska često je dulje od vremena držanja naknadnog pritiska, pripreme taljevine i vraćanja jedinice za ubrizgavanje. Zato je tijekom dopunskog vremena hlađenja ili očvršćivanja jedinica za pripremu taljevine i ubrizgavanje zaustavljena, čekajući početak sljedećeg ciklusa. Kalup se sastoji od dva dijela, od kojih je jedan pomičan. Nepomičan dio kalupa povezan je uljevnim sustavom s cilindrom za taljenje, a pomičan dio otvara i zatvara kalupnu šupljinu i može se pritom precizno centrirati elementima sustava za vođenje i centriranje. U njega je ugrađen i uređaj za izbacivanje otpreska. Najčešće je to mehanički uređaj, ali se otpresci katkad izbacuju i tlakom zraka ili ulja. U masovnoj proizvodnji manjih otpresaka često se radi s kalupima s nekoliko jednakih kalupnih šupljina. Uljevni se sustav tada sastoji od nekoliko razdjelnih kanala, a važno je da se sve kalupne šupljine pune istodobno i ravnomjerno, uz isti tlak i temperaturu taljevine.

Kalup treba održavati pri određenoj propisanoj temperaturi (temperirati). Najprikladniji medij za temperiranje kalupa jest voda u otvorenim ili zatvorenim temperiralima, kojoj se po potrebi dodaju sredstva za sniženje ledišta ili povišenje vrelišta. To je najčešće etilenglikol, koji omogućuje da se voda upotrebljava i do temperature 140 °C. Injekcijsko prešanje plastomera općenito je dinamički, nelinearni proces koji se sastoji od 4 temeljne faze : pripreme plastomerne taljevine, punjenja kalupne šupljine, djelovanja naknadnog tlaka i vađenja otpreska iz kalupa. Zbivanja u kalupnoj šupljini imaju presudnu ulogu pri određivanju svojstava gotovih otpresaka. Temeljno termodinamičko svojstvo plastomera je ovisnost specifičnog obujma o tlaku i temperaturi koje se opisuje s pomoću dijagrama $p-v-T$ koji je od ključne važnosti za teorijsko razumijevanje procesa injekcijskog prešanja, ali i za poslužitelja ubrizgavalice radi podešavanja parametara preradbe. Promjene stanja taljevine u kalupnoj šupljini moguće je u $p-v-T$ dijagramu pratiti kroz nekoliko faza (slika 2.3). Iz tog dijagrama je očigledno kako se najvažnije promjene u dijagramu javljaju tijekom djelovanja naknadnog tlaka (2-4). Stoga se većina svojstava otpreska kao što su specifični obujam, masa, stezanje, zaostala naprezanja i dimenzijska stabilnost uglavnom određuju tijekom faze djelovanja naknadnog tlaka. Točka pri kojoj tlak u kalupnoj šupljini dostiže okolišni tlak (4) ključna je u definiranju stezanja otpreska, tj. postizanja odgovarajuće dimenzijske stabilnosti. U toj točki otpresak počinje gubiti dodir sa stijenkama kalupne šupljine.



Slika 2.3 Tijek tlaka u dijagramu $p-v-T$ [3]

0-1 Volumno punjenje kalupne šupljine. U trenutku 0 taljevina dolazi u nadzornu točku u kalupnoj šupljini, a tlak u kalupnoj šupljini mjesno raste. Porast tlaka popraćen je laganim hlađenjem taljevine do trenutka potpunog ispunjavanja kalupne šupljine.

1-2

Stlačivanje. Nakon faze punjenja kalupne šupljine, taljevina se stlači s pomoću naknadnog tlaka. U toj fazi tlak u kalupnoj šupljini postiže maksimum. Efekti hlađenja taljevine još su uvijek vrlo mali.

2-3

Djelovanje naknadnog tlaka. Otpresak očvršćuje te se steže i odvaja od stijenki kalupne šupljine. Smanjenje obujma moguće je nadoknaditi ubrizgavanjem dodatne taljevine u kalupnu šuplinu. Uslijed povećanih efekata hlađenja, efektivni presjek kroz kojeg je moguće tečenje taljevine je smanjen, pa je pad tlaka kroz uljevni sustav veći.

3-4

Izohorno sniženje tlaka. Kada dođe do potpunog očvršćivanja ušća i taljevine u području kalupne šupljine oko ušća, ubrizgavanje dodatne taljevine više nije moguće. Stoga dolazi do daljnjeg izohornog pada tlaka u kalupnoj šupljini (bez promjena u specifičnom obujmu).

.

4-5

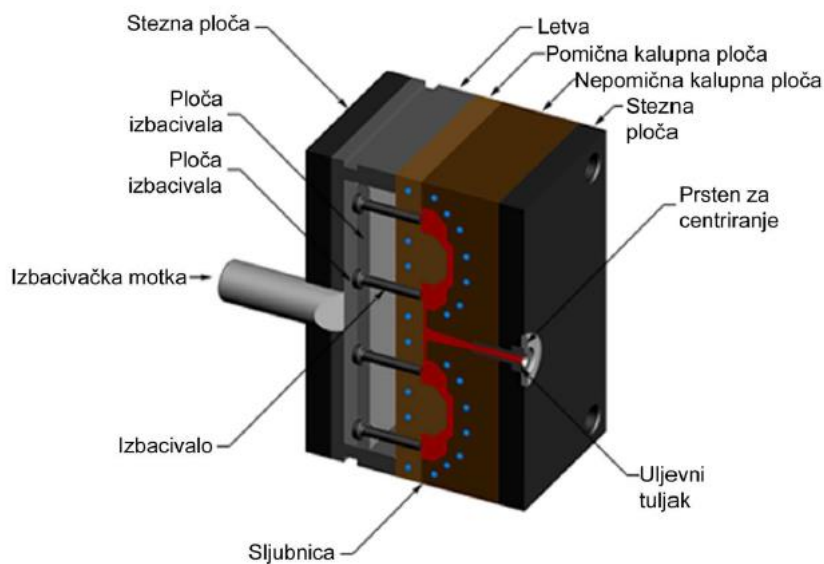
Hlađenje do vađenja iz kalupne šupljine. Nakon postizanja tlaka u kalupnoj šupljini od 1 bar, daljnje sniženje tlaka nije moguće (izjednačio se s okolišnim tlakom), pa se daljnje hlađenje otpreska odvija pri izobarnim uvjetima.

5-6

Hlađenje do okolišne temperature. Otpresak se vadi iz kalupne šupljine u točki 5, te se nastavlja hladiti do okolišne temperature izvan kalupa.

3. KALUP ZA INJEKCIJSKO PREŠANJE PLASTOMERA

Kalup za injekcijsko prešanje polimera je alat koji oblikuje željeni oblik i služi izradbi jedne vrste otpresaka. Oblikovanje strukture kalupa postiže se oblikovanjem elemenata od kojih se kalup sastoji. Pri tome se teži što manjem broju elemenata koji čine strukturu kalupa. Uz strukturnu kompleksnost kalupa su povezani pojmovi normiranja, unifikacije, tipizacije, univerzalnosti i fleksibilnosti kalupa. Dode li do kvara na kalupu, sustav je u zastoju do njegova popravka. Takvo stanje moguće je spriječiti izradbom više istih kalupa, što je rijetkost pri preradbi plastomera. To znači kako je razvoju kalupa potrebno posvetiti posebnu pozornost.



Slika 3.1 Kalup za injekcijsko prešanje sa osnovnim dijelovima [4]

3.1. Funkcija kalupa za injekcijsko prešanje polimera

Moguće je opisati ukupnu funkciju kalupa za injekcijsko prešanje plastomera koja se sastoji od praoblikovanja i prestrukturiranja plastomernog materijala u zadani makrogeometrijski oblik tvorevine propisanih svojstava i kvalitete površine. Parcijalne funkcije kalupa trebaju biti dovoljno niskog stupnja kompleksnosti kako bi se za njihovo ispunjavanje mogla definirati odgovarajuća konstrukcijska rješenja, tako da najjednostavnije dođemo do propisanih svojstava i kvalitete površine tvorevine. Stoga je ukupnu funkciju kalupa moguće raščlaniti na finije funkcijske strukture tzv. parcijalne funkcije kalupa.

Parcijalne funkcije kalupa i konstrukcijska rješenja u tom slučaju glase: [5]

- razdijeliti taljevinu (uljevni sustav),
- praoblikovati taljevinu (kalupna šupljina),
- održavati temperaturno polje u kalupu (sustav za temperiranje),
- odzračiti kalupnu šupljinu (sustav za odzračivanje),
- izvaditi grozd iz kalupne šupljine (sustav za vađenje otpreska iz kalupa),
- voditi i centrirati elemente kalupa (sustav za vođenje i centriranje),
- pričvrstiti kalup na ubrizgavalicu (kućište - stezne ploče kalupa)
- prihvatiti i prenijeti sile (kućište kalupa),
- povezati elemente kalupa (spojni elementi).

3.2. Elementi kalupa za injekcijsko prešanje

3.2.1. Kalupna šupljina

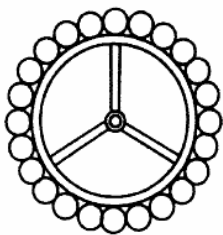
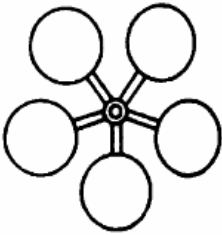
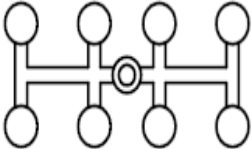
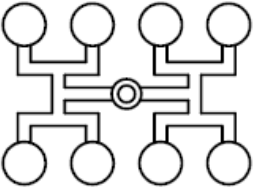
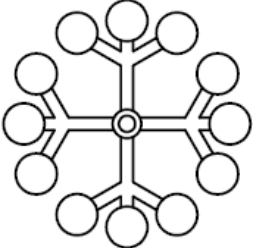
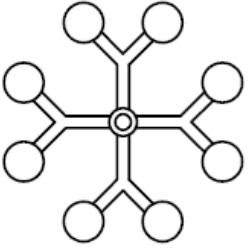
Kalupna šupljina definirana je kao prostor kojeg zatvaraju pomični i nepomični dijelovi kalupa. Oblik kalupne šupljine je identičan obliku otpreska, a izmjere su joj uvećane za iznos stezanja plastomernog materijala kojeg se prerađuje. Kalupe je moguće podijeliti na kalupe s jednom kalupnom šupljinom i kalupe s više kalupnih šupljina, za izradbu jedne vrste otpresaka ili kalup s različitim oblicima kalupnih šupljina.

Funkcija kalupne šupljine je [5]:

- razdioba plastomerne taljevine
- definiranje izmjere otpreska
- prijenos tlaka taljevine u kalupnu šupljinu
- definiranje kvalitete površine otpreska.

Nakon određivanja broja kalupnih šupljina potrebno je definirati njihov pravilan raspored (tablica 3.1).

Tablica 3.1 Temeljni slučajevi rasporeda kalupnih šupljina [5]

		Prednosti	Nedostaci
Zvjezdasti raspored			
Neuravnoteženi 	Uravnoteženi 	Isti put tečenja do svih kalupnih šupljina. Povoljan raspored za vađenje, naročito kod kalupa s mehaničkim odvrtanjem navojne jezgre.	Ograničen broj kalupnih šupljina. Kod većeg broja kalupnih šupljina veliki je utrošak materijala (ići na redni raspored).
Redni raspored			
Neuravnoteženi 	Uravnoteženi 	Mogući veći broj kalupnih šupljina nego kod zvjezdastog rasporeda. Kod većeg broja kalupnih šupljina razdjelnici su kraći nego kod zvjezdastog rasporeda (manji utrošak materijala).	Nejednolik put tečenja do svih kalupnih šupljina. Istovremeno punjenje kalupnih šupljina je moguće samo uz različite presjeke razdjelnika i/ili ušća (korekcija poprečnog presjeka ušća).
Simetrični raspored			
Neuravnoteženi 	Uravnoteženi 	Isti put tečenja do svih kalupnih šupljina. Nije potrebna korekcija poprečnog presjeka ušća.	Veliki obujam uljevnog sustava, veliki otpad. Preporučuje se primjena vrućeg uljevnog sustava

Temeljni uvjeti kojih se treba pridržavati pri definiranju rasporeda kalupnih šupljina su [5]:

- ostvarenje najpovoljnijeg rasporeda kalupnih šupljina radi postizanja minimalnih izmjera kalupa
- osiguranje minimalnog puta tečenja taljevine od mjesta dodira mlaznice ubrizgavalice s kalupom do kalupne šupljine
- osiguranje pravilnog rasporeda kalupnih šupljina radi simetričnosti zatvaranja kalupa

Dakle teži se za takvim rasporedom kalupnih šupljina kojim će se najbolje iskoristiti korisni obujam kalupa, s time da putovi tečenja do svih kalupnih šupljina budu ujednačeni i što kraći, kako bi se osigurao što manji otpad materijala zbog uljevnog sustava (u slučaju čvrstog uljevnog sustava). Iz zahtjeva na kvalitetu otpresaka, izravno proizlaze zahtjevi na kvalitetu kalupne šupljine.

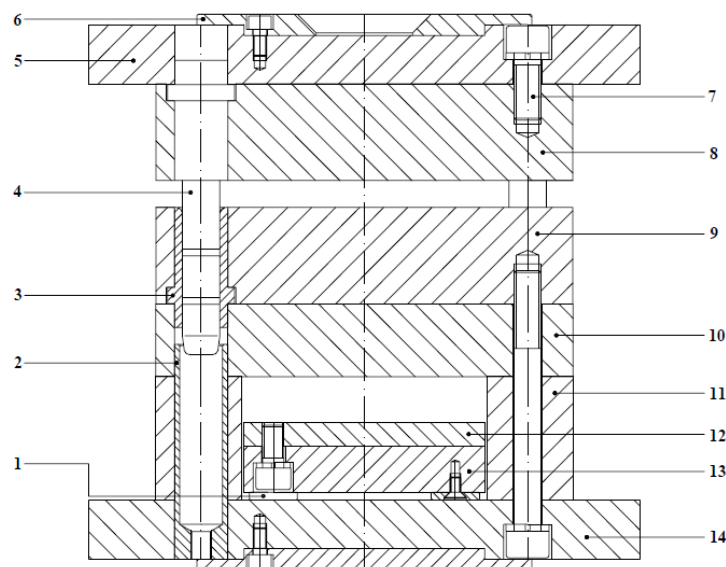
Elementi koji oblikuju kalupnu šupljinu u pravilu se izrađuju od visokolegiranih alatnih čelika koji toplinskom obradom dobivaju svojstva potrebna za siguran rad i izdržljivost kalupa. Ponekad se elementi kalupne šupljine izrađuju od berilijeve bronce, bakra, aluminija i mjedi. [5]

3.2.2. Kućište kalupa

Kućište kalupa kao cjelina ispunjava tri parcijalne funkcije: povezivanje dijelova kalupa, pričvršćivanje kalupa na ubrizgavalicu i prihvaćanje i prijenos sila. Kućište kalupa je slog ploča koji zajedno čine noseću konstrukciju kalupa. U njemu su ugrađeni žigovi, matrice i ostali dijelovi sklopova neophodnih za dobro i ispravno funkcioniranje kalupa. Na oblik i konstrukcijsku izvedbu kućišta najveći utjecaj imaju oblik i izmjere otpreska, njihova predviđena količina proizvodnje, te predviđeni stupanj automatiziranosti rada kalupa. Kalup se dijeli na pomični i nepomični dio. Nepomični dio kalupa nalazi se na strani jedinice za ubrizgavanje taljevine u kalup, dok se pomični dio kalupa nalazi na strani jedinice za otvaranje i zatvaranje kalupa. Linija (površina) koja dijeli te dvije polovice kalupa naziva se sljubnicom. Kriterij svrstavanja u skupine prema vrsti kućišta je različitost načina vađenja otpresaka iz kalupa i vrste uljevnog sustava. Za oznaku vrste kućišta kalupa predviđena je jedna znamenka.

Moguće je načiniti grubu sistematizaciju kućišta kalupa [5]:

- pravokutna kućišta
- okrugla kućišta
- kućišta s postranim otvaranjem kalupnih ploča
- kućišta sa školjkastim kalupnim pločama
- posebna kućišta



Slika 3.2 Elementi kućišta kalupa [5]

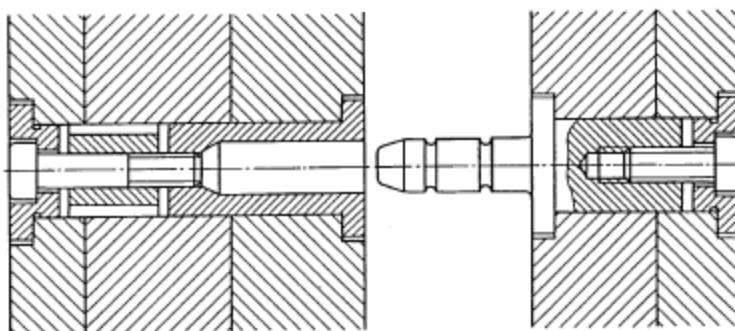
1-naslon, 2-centrirna puškica, 3-vodeća puškica, 4-vodeći zatik, 5-nepomična stezna ploča kalupa, 6-prsten za centriranje, 7-vijak, 8-nepomična kalupna ploča, 9-pomična kalupna ploča, 10-temeljna ploča, 11-odstojna letva, 12 - ploča izbacivala, 13-potisna ploča, 14-pomična stezna ploča kalupa [5]

3.2.2.1. Pravokutna kućišta kalupa

Pravokutna kućišta mogu se na prvoj razini podijeliti na podtipove s obzirom na način spajanja dijelova kućišta:

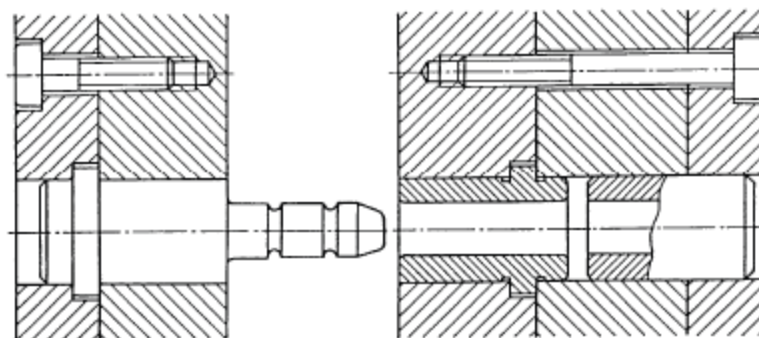
- Europa sustav spajanja ploča kućišta kalupa,
- standardni sustav spajanja ploča kućišta kalupa.

Kod Europa sustava, sustav za vođenje i stezni vijci su u istoj osi. Time se dobiva više mjesta za kalupnu šupljinu i sustav za temperiranje (slika 3.3).



Slika 3.3 Europa sustav spajanja ploča kućišta kalupa[5],[6]

Slika 3.4 prikazuje standardni sustav spajanja te se u tome sustavu sustav za vođenje nalazi više pomaknut prema rubu kućišta, a stezni vijci su smješteni prema unutrašnjosti kućišta. U ovom slučaju manji je radni obujam kalupa (za ugradnju kalupnih šupljina i sustava za temperiranje), ali je spoj čvršći i pouzdaniji.

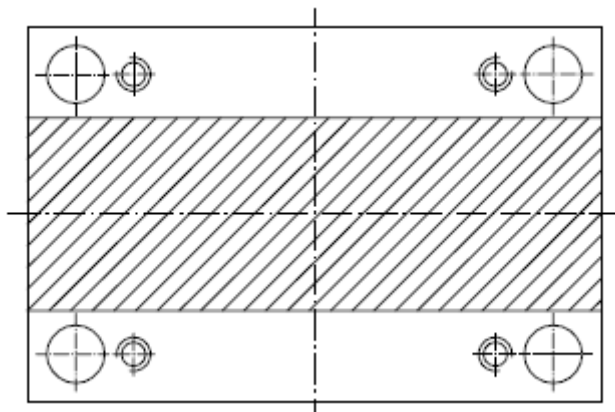


Slika 3.4 Standardni sustav spajanja ploča kućišta kalupa [5],[6]

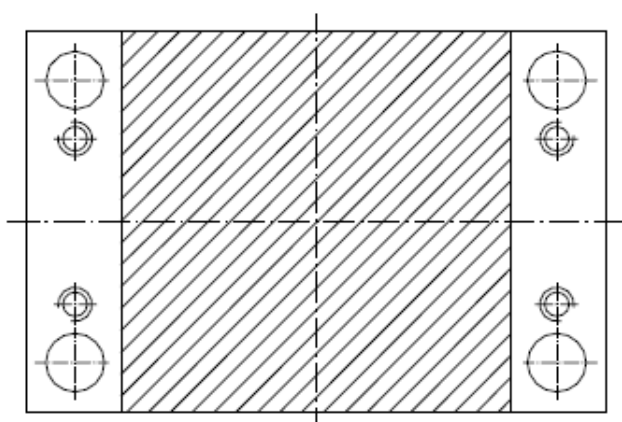
Druga razina podjele kućišta kalupa se odvija na temelju načina postavljanja ploča sustava za vađenje otpreska iz kalupa: [5]

- N tip ploča kućišta kalupa
- Q tip ploča kućišta kalupa

N tipa, ploče sustava za vađenje otpresaka iz kalupa smještene su tako da su pogodne za smještaj grozda bitno različite duljine i širine (slika 3.5). U slučaju Q tipa, ploče sustava za vađenje otpreska iz kalupa konstrukcijski zadovoljavaju smještaj grozda koji je na razini sljubnice približno iste duljine i širine (slike 3.6).



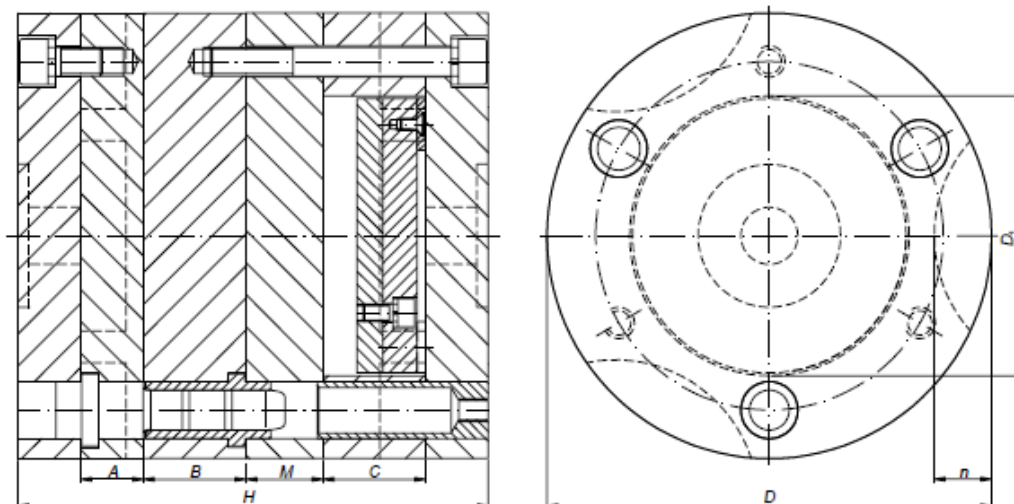
Slika 3.5 N tip ploča kućišta kalupa [5]



Slika 3.6 Q tip ploča kućišta kalupa [5]

3.2.2.2. Okrugla kućišta kalupa

Okrugla kućišta pogodna su za izradbu otpresaka rotacijsko simetričnog i sličnih oblika, odnosno ukoliko je raspored kalupnih šupljina rotacijsko simetrični ili sličan. Okrugli oblik kućišta odgovara takvim otprescima i rasporedima kalupnih šupljina, jer se na taj način postiže racionalnije iskorištenje korisnog obujma kalupa, konstrukcija je simetrična, sile u pojedinim dijelovima kalupa su uravnotežene, a naprezanja dijelova kalupa su manja. Pri uporabi ubrizgavalica s priječnicama, moguće je na ubrizgavalicu stegnuti kalup veće korisne površine ukoliko je kućište okruglo. Podjelu okruglih kućišta moguće je načiniti na temelju broja vodećih zatika. Tako se razlikuju okrugla kućišta s dva, tri ili četiri vodeća zatika. Ova podjela važna je posebice pri uporabi standardnih okruglih kućišta kalupa zbog međusobnog kombiniranja ploča kućišta. [6]



Slika 3.7 Okruglo kućište kalupa [5]

3.2.3. Uljevni sustav

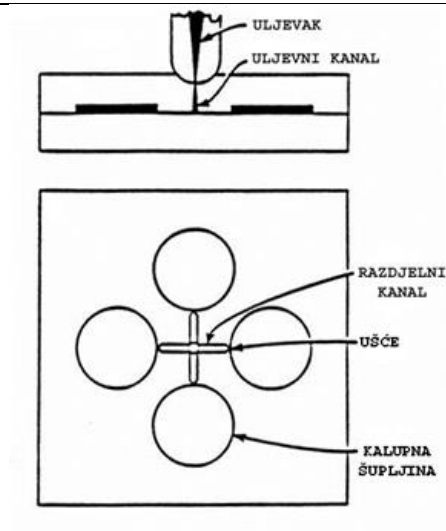
Pri injekcijskom prešanju razlikujemo tri temeljne vrste uljevnih sustava: čvrsti (hladni) uljevni sustav, kapljeviti (vrući) uljevni sustav, te njihovu kombinaciju. Dodatno, pri čvrstom uljevnom sustavu moguće je načiniti podjelu prema vrsti ušća, dok se vrući uljevni sustavi razlikuju prema načinu zagrijavanja pojedinih elemenata sustava i prema vrsti ušća na mlaznicama. Primjenom vrućeg uljevnog sustava omogućen je visok stupanj slobode izbora položaja ušća. Njegova primjena uz to predstavlja određenu uštedu materijala, jer nema otpada kojeg predstavlja uljevni sustav pri uporabi čvrstog uljevnog sustava. [7] Neke od veličina koje utječu na uljevni sustav navedene su u tablici 3.2.

Tablica 3.2 Veličine koje utječu na uljevni sustav [7]

OTPRESAK	TALJEVINA
Geometrija otpreska	Smična viskoznost
Obujam otpreska, V_o	Struktura (amorfna, kristalasta)
Debljina stijenke otpreska, s_o	Punila i ojačala
Zahtjevi kvalitete:	Vrijeme ubrizgavanja, t_u
- izmjere	Područje omekšanja
- estetski	Temperatura postojanosti oblika, T_{po}
- mehanički	Temperaturna osjetljivost
	Ponašanje taline
UBRIZGAVALICA	KALUP ZA INJEKCIJSKO PREŠANJE
Sila držanja, F_d	Automatsko odvajanje
Pritisak ubrizgavanja, p_u	Ručno odvajanje
Brzina ubrizgavanja, v_u	Temperiranje uljevka

3.2.3.1. Čvrsti uljevni sustav

Čvrsti uljevni sustav kalupa sastoji se od jednog ili više kanala povezanih u cjelinu, koji omogućuju što lakše, brže i laminarnije provođenje plastomerne taline od mlaznice ubrizgavalice do kalupne šupljine. Takvi kanali prije spajanja s kalupnim šupljinama završavaju suženjima koja se nazivaju ušćima. Pri uporabi čvrstog uljevnog susatva moguće je govoriti o materijalnom izlazu iz kalupa u obliku grozda kojeg predstavljaju otpresci i očvršćeni plastomerni materijal koji je popunio uljevne šupljine (ostatak uljevnog sustava). Uljevni kanali čvrstog uljevnog sustava nisu posebno zagrijavani, već su ugrađeni u kalupnu ploču ili kalupne umetke. Stoga je njihovo temperaturno polje dio temperaturnog polja kalupa. Čvrsti uljevni sustav se sastoji od uljevka, uljevnih kanala, razdjelnih kanala i ušća. [8]

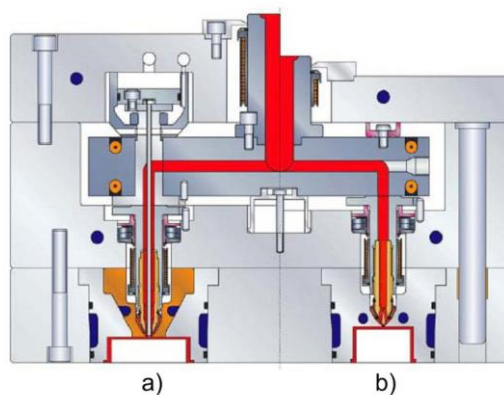


Slika 3.8 Elementi čvrstog uljavnog sustava [9]

3.2.3.2. Vrući uljevni sustav


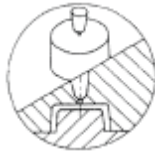




Cilj svake proizvodnje je proizvesti što manje otpada, tj. proizvoditi sa što manje gubitaka. Pri injekcijskom prešanju nastoji se na dijelu od mlaznice ubrizgavalice do kalupne šupljine "izgubiti" što manje materijala. Kako bi se omogućio minimalni gubitak plastomernog materijala u uljevnom sustavu, rabe se vrući uljevni sustavi. Uporaba tih sustava predstavlja prednost posebice pri izradbi vrlo malih otpresaka, jer u tom slučaju količina materijala u uljevnom sustavu može predstavljati veliki udio ukupno ubrizgane plastomerne taljevine. [5]

Vrući uljevni sustavi zahtijevaju dulje vrijeme konstruiranja i izradbe kalupa, te više troškove izradbe, ali je cijena izradbe otpresaka zato znatno niža. Na slici 3.9 dan je primjer kalupa sa vrućim uljevnim sustavom.

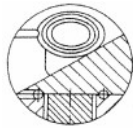
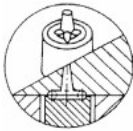
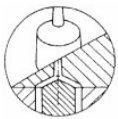





Slika 3.9 Kalup s vrućim uljevnim sustavom: a) mlaznica s ventilom, b) otvorena mlaznica [5]

Tablica 3.3 Sistematizacija čvrstih ušća [5]

Vrste ušća	Tip ušća	Shema	Primjedba
Točkasto	Nepostojeće (lažno)		Uljevak preuzima ulogu ušća; omogućen visoki naknadni pritisak.
	Normalno (obično) središnje		Spriječen povratni tok taljevine; ne zahtijeva naknadnu obradbu;
	Normalno(obično) rubno		najčešća uporaba kod tankostijenih otpresaka; pogodni za stvaranje orijentirane strukture.
	Podušće (tunelno)		Omogućeno automatsko otkidanje uljevka i njegovo zadržavanje na izvlačilu.
Lepezasto			Uzrokuje manju orijentiranost strukture nego točkasta ušća; prikladnije je pri povišenim udjelima ojačala u plastomeru.
Filmsko			Primjena pri izradbi otpresaka velike površine; postižu smanjenu orijentiranost strukture.

Tablica 3.3 Nastavak i kraj [5]

Prstenasto	Vanjsko		Za kružne, rotacijski simetrične šuplje otpreske.
	Unutrašnje		Kalupna šupljina se počinje puniti tek kada se uljevni prsten ispuni plastomernom taljevinom; pri vađenju otpresaka automatski se otkida uljevni sustav
Kružno	Ljevkasto		Uporaba pri izradi otpresaka oblika tuljca, prstena, valjka i sl.; omogućuje jednoliko punjenje kalupne šupljine; postižu se jednolike debljine stijenki.
	Membransko		
	Pločasto		
Čekičasto			Ostvaruje se sniženje tlaka u kalupnoj šupljini; poboljšana optička svojstva otpreska.

3.2.4. Sustav za temperiranje kalupa

Sustav za temperiranje kalupa ispunjava parcijalnu funkciju reguliranja temperature u kalupnoj i uljevnoj šupljini tj. postizanje propisane temperature stijenke kalupne šupljine, a način njena postizanja ovisi o stvarnim uvjetima, što dovodi do potrebe zagrijavanja ili hlađenja kalupa. Toplina se kalupu može dovoditi i odvoditi kapljevinama, a grijalima samo odvoditi. Utječe na uspješno odvijanje i trajanje ciklusa injekcijskog prešanja. Načelo koje određuje uspješnost preradbe plastomera injekcijskim prešanjem je optimiranje temperaturne razlike između temperature taljevine i temperature stijenke kalupne šupljine. Kvaliteta otpresaka zahtjeva da razlika tih temperatura bude što manja, a proizvodnost zahtjeva što veću temperaturnu razliku. Moguće je razlikovati predtlačno i podtlačno temperiranje kalupa.

Pri kalupima za injekcijsko prešanje plastomera najčešće se rabi temperiranje s pomoću medija (vodena para, plin, ulje, voda, voda s dodacima). Na izbor medija i opreme za temperiranje utječu potrebna svojstva otpreska i željena proizvodnost. Potrebna temperatura stijenke kalupne šupljine posredna je veličina, koja određuje brzinu i temperaturu medija. Pri preradbi plastomera češće je hlađenje kalupa, pa je ulazna temperatura medija za temperiranje niža od izlazne, jer se medij zagrijava prolaskom kroz krug za temperiranje. Ponekad se uvodi više krugova za temperiranje, koji su nezavisno regulirani. Obzirom na elemente sustava za temperiranje razlikuju se [6]:

- temperiranje s pomoću medija (vodena para, plin, ulje, voda, voda s dodacima),
- elektrootporno temperiranje,
- indukcijsko temperiranje,
- poluvodičko temperiranje.

Krugove za temperiranje (predtlačno i podtlačno) moguće je podijeliti na krugove za temperiranje elementa kalupne šupljine koji oblikuju unutrašnji dio otpreska, te na krugove za temperiranje elementa kalupne šupljine koji oblikuju vanjski dio otpreska. Stoga se uvodi podjela krugova za temperiranje na [3]:

- krugove za temperiranje gnijezda i kalupnih ploča
- krugove za temperiranje žigova i jezgra

Krugovi za temperiranje gnijezda i kalupnih ploča služe temperiranju dijelova kalupa s pomoću kojih se otpresku daje vanjski oblik. Njima se temperiraju približno pločasti otpresci i to krugovima za temperiranje u obliku slova U, Z, kao i pravokutnika. Cilindrična gnijezda zahtijevaju nešto drugačiju izvedbu kanala za temperiranje. Za otpreske veće visine, primjenjuje se više krugova za temperiranje Z oblika.

Ploče s umetcima temperiraju se tako da se izvedu posebni krugovi za temperiranje i u umetcima. Krugovi za temperiranje žigova i jezgara služe temperiranju dijelova kalupa, kojima se daje unutrašnji oblik otpreska. [6]

Osim klasičnih krugova za temperiranje, na tržištu se pojavio i novi tzv. Contura krug za temperiranje. Osnovna karakteristika tog sustava za temperiranje su kanali za temperiranje koji prate oblika kalupne šupljine. Takav oblik kanala za temperiranje omogućuje bitno skraćanje ciklusa injekcijskog prešanja (i do 30%), jednoliko temperiranje kalupne šupljine, te postizanje poboljšane kvalitete otpreska. Također je razvijen i sustav sa savitljivim elementima za temperiranje. Elementi su izrađeni od elastičnih bakrenih cijevi koje se mogu oblikovati čak i rukom.

3.2.5. Sustav za vađenje otpreska iz kalupa

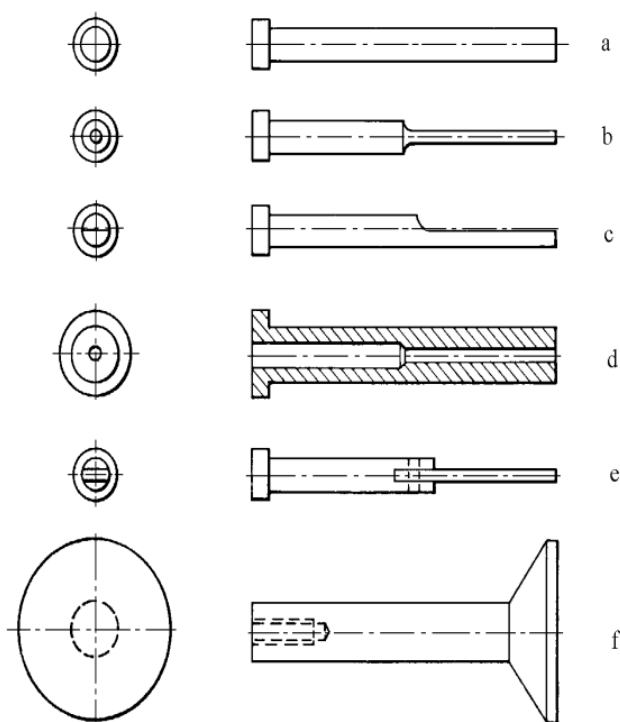
Sustav za vađenje otpreska iz kalupa obavlja parcijalnu funkciju otvaranja kalupa i vađenja otpreska iz kalupne šupljine. Prema načinu djelovanja sustavi za vađenje otpresaka mogu se podijeliti na: mehaničke, pneumatske, hidrauličke i mješovite. Kod kalupa za injekcijsko prešanje plastomera danas se najčešće upotrebljavaju sustavi s mehaničkim načinom vađenja, a rjeđe ostali načini kod posebnih otpresaka ili posebnih konstrukcija kalupa. [5]

3.2.5.1. Vađenje otpreska iz kalupa pomoću izbacivala

Najpoznatiji sustav za vađenje otpreska je s izbacivalima. Najčešća uporaba je za otpreske s debljim stijenkama gdje nema opasnosti od pucanja ili vitoperenja i gdje su otisci od izbacivala na otpresku dopusteni. Takav sustav sastoji se od: potisne ploče, potiskivala, povratnih opruga, povratnika, izvlačila i izbacivala. [5]

Pravila pozicioniranja izbacivala u kalupu su: [5]

- izbacivala smjestiti na najnižu točku otpreska
- izbacivala smjestiti na uglove otpreska ili u njihovoj blizini
- izbacivala smjestiti simetrično, uz jednolik raspored po otpresku
- izbacivala smjestiti na presjeku rebara ili rebra i stranice otpreska.



Slika 3.10 Najčešći oblici izbacivala [8]

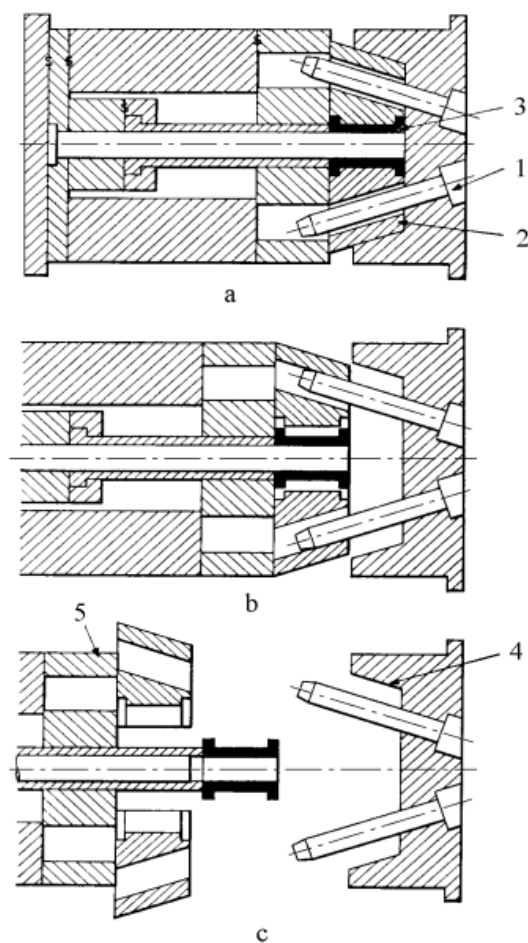
a - štapićasti, b - stanjeni, c - D-oblik, d - nožasti, e - oblik puškice, f – tanjurasti

3.2.5.2. Sustavi za vađenje otpreska iz kalupa s pomoću stlačenog zraka

Osim sustava za mehaničko vađenje otpresaka, primjenjuje se i pneumatsko vađenje otpresaka, koje se postiže: statičkim ili dinamičkim ventilima, gljivastim izbacivalima i rubnim odzračivanjem.

3.2.5.3. Sustavi za vađenje iz kalupa otpresaka s podrezima

Kada na otpresku postoje različiti podrezi, onda se posebna pažnja skreće na konstruiranje sustava za vađenje otpresaka i koriste se posebni sustavi vađenja takvih otpresaka. Otpresci koji imaju manje podreze mogu biti izrađeni u normalnom kalupu oblikovanjem podreza na posebnom umetku. U slučaju izrade otpresaka s većim podrezima rabe se različiti sustavi kliznika odnosno školjkasti kalupi. Također, posebni sustavi vađenja otpresaka iz kalupa koriste se i u slučaju izrade otpresaka s navojem. Pri izradi otpresaka s unutrašnjim navojima razlikuju se dvije temeljne skupine rješenja sustavaza vađenje otpresaka iz kalupne šupljine. Prvi su mehanizmi za odvrtnje navoja pokretani otvaranjem i zatvaranjem kalupa s pomoću sustava zupčanika, zupčastih letvi i raskoljivih jezgri. Raskoljive jezgre se koriste za vađenje manjih otpresaka koji imaju široke unutrašnje podreze i navoje. Pri tome je potrebno jezgru podijeliti u nekoliko segmenata. Tijekom otvaranja kalupa i potiskivanja dolazi do primicanja segmenata čime je moguće vađenje otpresaka s unutrašnjim podrezima i navojima iz kalupa. Drugu skupinu čine mehanizmi za odvrtnje navoja pokretani izvan kalupa, najčešće preko hidrauličkih cilindara. Takvi se sustavi najčešće primjenjuju kada se ima veliki broj navojnih jezgri u jednom kalupu (kalupi sa više kalupnih šupljina), te u slučaju većeg broja navoja na jednom otpresku. [10]



Slika 3.11 Kalup s kliznicima i kosim izvlačilima

a - zatvoren kalup, b - poluotvoren kalup, c - otvoren kalup; 1 - koso izvlačilo, 2 - kliznik, 3 - otpresak, 4 - naslon, 5 - kalupna ploča [5]

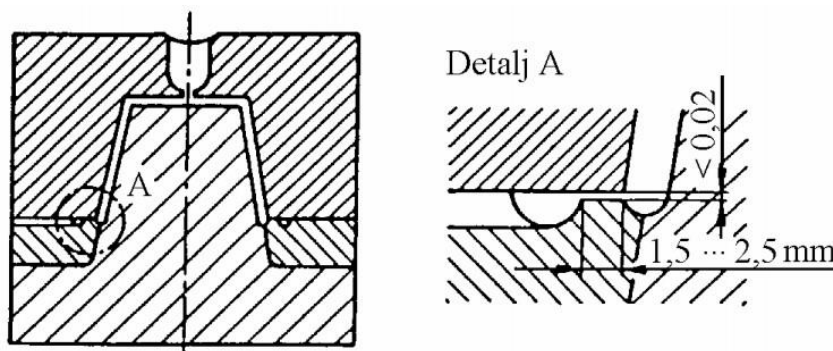
3.2.6. Sustav za vođenje i centriranje kalupa

Postoje dvije grupe sustava za vođenje i centriranje. Unutrašnje centriranje služi da bi se osiguralo točno nalijeganje jednog dijela kalupa na drugi pri otvaranju i zatvaranju kalupa. Vanjsko centriranje je potrebno radi pravilnog nalijeganja kalupa na nosače kalupa ubrizgavalice i izvodi se pomoću prstena za centriranje ili razdjelnog prstena kada na steznim pločama kalupa postoji izolacija. Najčešće se sustav za unutarnje vođenje i centriranje sastoji od vodećeg zatika koji može biti gladak ili sa utorima za podmazivanje (koristi se kod kalupa veće mase), vodeće puškice i centrirne puškice.

Kod kalupa male ugradbene visine (odnosno duljine) često se upotrebljava glatki vodeći zatik i trodijelna vodeća puškica. Kod velikih i masivnih otpresaka i kalupa, radi osiguravanja točnog i pouzdanog vođenja i centriranja, često se upotrebljava konusno vođenje s ili bez izmjenjivih letvica odnosno prste (ako se radi o rotacijsko simetričnim otprescima). Moguća je i izvedba vođenja i centriranja pomoću glatkog vodećeg zatika i valjnog ležaja. [5]

3.2.7. Sustav za odzračivanje kalupa

Sustav za odzračivanje kalupa potreban je stoga, što prilikom ubrizgavanja plastomerne taljevine u zatvorenu kalupnu šupljinu, u njoj zaostaju zrak i plinovi. Naročito je važan tijekom faze ubrizgavanja. Potrebno ga je osigurati te predvidjeti na kraju svih putova tečenja taljevine u kalupnoj šupljini, kao i na mjestima linija spajanja čela taljevine. Vrlo je važno i čišćenje elemenata za odzračivanje. Pomični elementi (npr. izbacivala) obično se čiste sami, dok je nepomične elemente potrebno čistiti. Otvori za odzračivanje trebaju biti izvedeni tako da taljevina ne može ulaziti u njih i na taj ih način zatvoriti (slika 3.12.). [5]

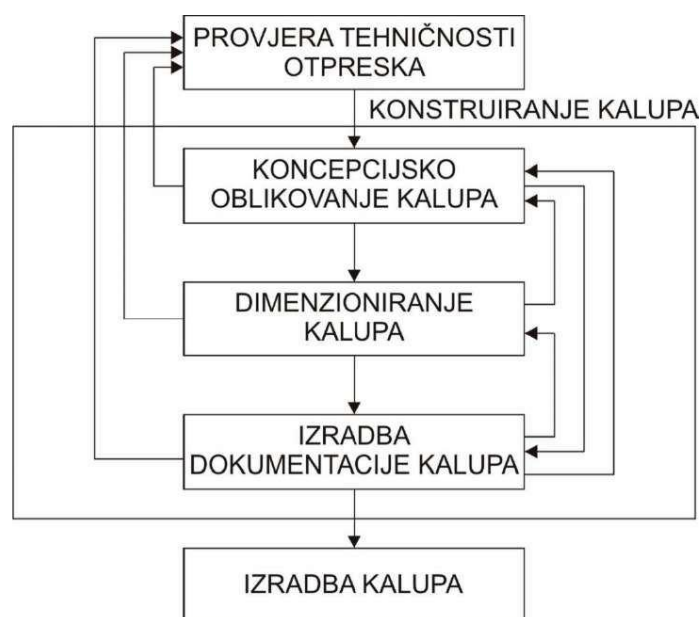


Slika 3.12 Sustav za odzračivanje kalupa[6]

U pravilu, kanali za odzračivanje postavljaju se nasuprot ušća, odnosno na mjestu stijenke kalupne šupljine, koje je najudaljenije od ušća. Otvori za odzračivanje trebaju biti izvedeni tako da taljevina ne može ulaziti u njih i na taj ih način zatvoriti. Najčešće je odzračivanje kroz provrte za vođenje izbacivala. U novije vrijeme razvijeni su porozni materijali za kalupne ploče koji se izrađuju srašćivanjem metalnog praha i omogućuju odzračivanje kalupa izravno kroz kalupne ploče.

4. METODIČKO KONSTRUIRANJE KALUPA ZA INJEKCIJSKO PREŠANJE PLASTOMERA

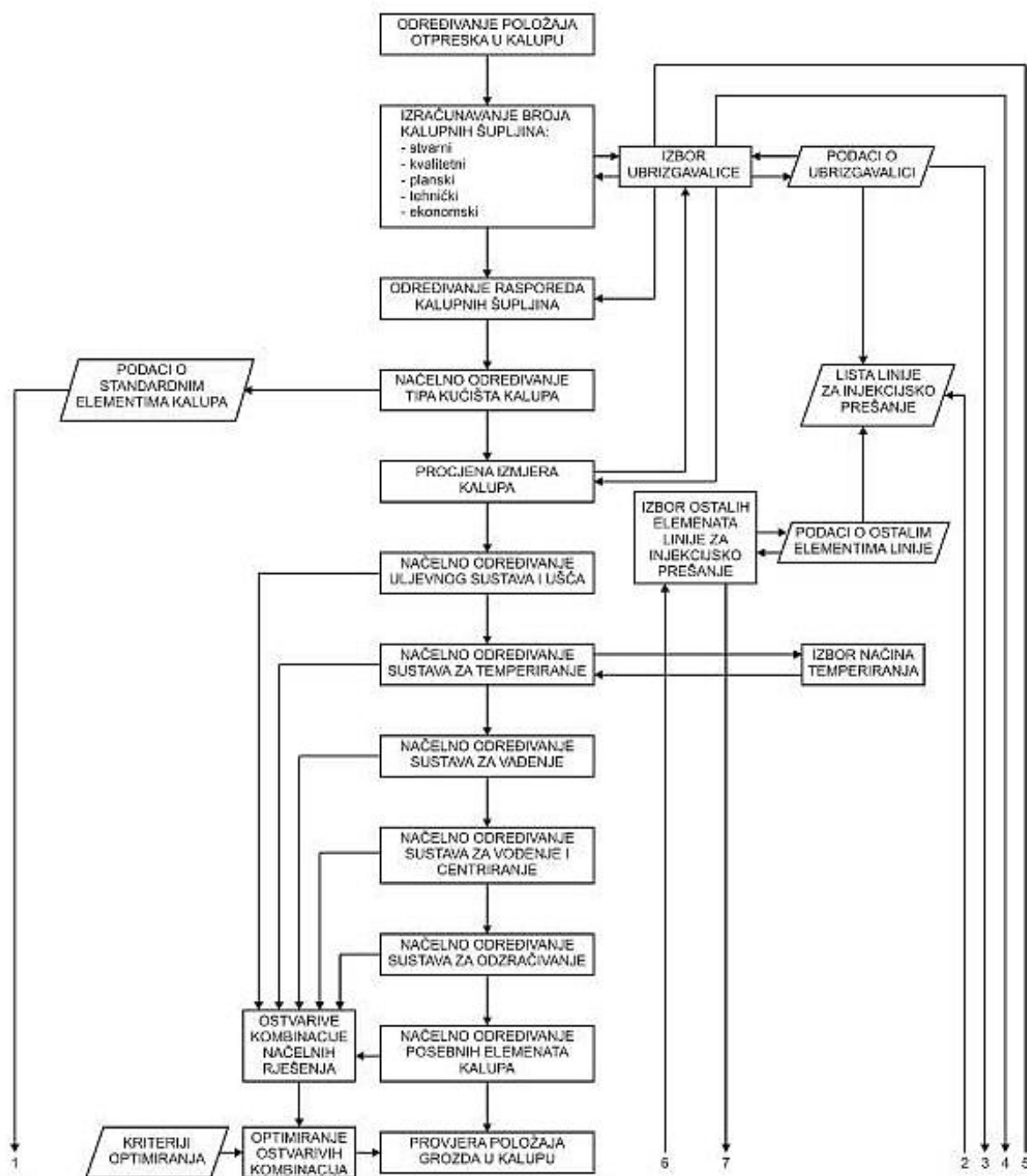
Tijek konstruiranja kalupa moguće je grubo podijeliti u tri temeljne faze. To su početni postupci konstruiranja, središnja faza konstruiranja i završne aktivnosti konstruiranja. U slučaju kalupa za injekcijsko prešanje plastomera to su: faza razrade koncepcije kalupa, faza dimenzioniranja elemenata kalupa (proračuni kalupa), te faza izrade dokumentacije kalupa.[3]



Slika 4.1 Temeljne faze konstruiranja kalupa za injekcijsko prešanje plastomera [3]

4.1. Faza razrade koncepcije kalupa

Prvu fazu procesa konstruiranja kalupa za injekcijsko prešanje plastomera predstavlja analiza koncepcije kalupa. U toj fazi prevladava linearni tijek procesa konstruiranja s minimalnim iteracijskim procesima. Odluke, koje se donose tijekom ove faze odluke su visokorazinskog odlučivanja. O kvaliteti koncepcije kalupa i načelnog određivanja svih njegovih elemenata ovisi pouzdano funkcioniranje kalupa tijekom njegove uporabe. Stoga je ovo najvažnija faza u procesu konstruiranja kalupa. Za potrebe definiranja faza koncepcijskog oblikovanja kalupa, razrađen je dijagram koji prikazuje sve aktivnosti ove faze konstruiranja kalupa, prikazanog na slici 4.2.



Slika 4.2 Aktivnosti faze razrade koncepcije kalupa [6]

4.1.1. Prethodno načelno određivanje položaja otpreska u kalupu

Određivanjem položaja otpreska u kalupu definirani su oblik i veličina kalupne šupljine, a načelno i vrsta kalupa. Kako ova aktivnost zahtijeva veliko iskustvo konstruktora, razrađen je dijagram odlučivanja za načelno određivanje položaja otpreska u kalupu (slika 4.3) kojeg mogu rabiti i manjeiskusni konstruktori. U dijagramu konstruktor odgovara na pitanja sa DA ili NE, sve dok ne dođe do predloženog rješenja. U ovoj fazi razvoja kalupa na neka pitanja je nemoguće sa sigurnošću dati odgovor, već se trebaju načiniti odgovarajuće pretpostavke. Stoga je potrebno na kraju faze razrade koncepcije kalupa načiniti provjeru položaja otpreska. [5]

4.1.2. Određivanje broja kalupnih šupljina

Ukoliko naručitelj kalupa nije sam definirao broj kalupnih šupljina, potrebno ih je odrediti. Određivanje broja kalupnih šupljina vrlo je bitno, jer se njime izravno utječe na troškove izradbe kalupa, a samim time i troškove izradbe otpresaka. Pri tome, postoji nekoliko kriterija na temelju kojih se određuje optimalni broj kalupnih šupljina [5]:

- stvarni broj kalupnih šupljina određen na temelju veličine serija,
- kvalitetni broj kalupnih šupljina određen na temelju zahtjeva na kvalitetu otpreska,
- planski broj kalupnih šupljina određen na temelju roka isporuke otpresaka,
- tehnički broj kalupnih šupljina određen na temelju tehničkih karakteristika ubrizgavalice,
- ekonomičan broj kalupnih šupljina određen na temelju troškova izradbe otpresaka.

Bez obzira prema kojem se kriteriju određuje optimalni broj kalupnih šupljina potrebno je poznavati: proizvodno-tehničke mogućnosti opreme, oblik i izmjere otpreska, zahtjeve na kvalitetu otpresaka, zahtjeve na rokove isporuke otpresaka, te ukupne proizvodne količine i mogućnosti plasiranja otpresaka na tržište.

4.1.3. Određivanje rasporeda kalupnih šupljina

Raspored kalupnih šupljina često treba zadovoljiti niz oprečnih zahtjeva. Uglavnom se teži za rasporedom koji će najbolje iskoristiti korisni obujam kalupa, pri čemu su putovi tečenja do

svih kalupnih šupljina isti i što kraći.[5] Temeljni slučajevi rasporeda kalupnih šupljina s prednostima i nedostacima prikazani su u tablici 3.1.

4.1.4. Načelno određivanje kućišta kalupa

Položaj otpreska u kalupu, njegovi oblik i izmjere, te broj i raspored kalupnih šupljina izravno određuju vrstu kućišta kalupa. Iako je izbor vrste kućišta kalupa uglavnom prepušten iskustvu i intuiciji konstruktora kalupa, na temelju geometrije otpresaka, broja i rasporeda kalupnih šupljina moguće je djelomice formalizirati izbor kućišta kalupa. [5] U tu svrhu razrađen je dijagram odlučivanja za načelno određivanje vrste kućišta kalupa (slika 4.4)

4.1.5. Procjena izmjera kalupa

Na temelju prethodnih koraka u kojima je određen položaj otpreska u kalupu, broj i raspored kalupnih šupljina, te vrsta kućišta kalupa, moguće je grubo procijeniti izmjere kalupa. Ovdje valja voditi računa o dodatnom obujmu kalupa u koji će biti smješteni elementi sustava za temperiranje kalupa, te elementi sustava za vađenje otpreska iz kalupa. [5]

4.1.6. Načelno određivanje uljevnog sustava i ušća

Na temelju analiziranih vrsta uljevnih sustava i ušća, te njihovog opisa načinjen je dijagram odlučivanja za načelno određivanje vrste uljevnog sustava i ušća (slika 4.5). U prvom redu potrebno je definirati radi li se o čvrstom ili vrućem uljevnom sustavu, odnosno njihovoj kombinaciji, a zatim se izabiru odgovarajuća rješenja unutar definiranog uljevnog sustava. Na slici 4.5 pune linije vode do najpovoljnijeg i/ili najčešćeg načelnog rješenja, dok isprekidane linije ukazuju na mogućnost izbora i drugog rješenja koje je manje povoljno i/ili rjeđe u primjeni.[5]

4.1.7. Načelno određivanje sustava za temperiranje kalupa

Ova aktivnost obuhvaća izbor sustava za temperiranje ka kalupa. Ukoliko se radi o temperiranju kalupa s pomoću medija za temperiranje razrađen je dijagram odlučivanja za načelno određivanje elemenata takvog sustava [5] (slika 4.6).

4.1.8. Načelno određivanje sustava za vađenje otpreska iz kalupa

Već pri definiranju položaja otpreska u kalupu pretpostavljeni su neki elementi sustava za vađenje otpreska iz kalupa. Konstruktor kalupa tijekom ove aktivnosti načelno određuje sve potrebne elemente tog sustava. Pri tome se može rabiti dijagram za načelno određivanje sustava za vađenje otpreska iz kalupa [5] (slika 4.7).

4.1.9. Načelno određivanje sustava za vođenje i centriranje elemenata kalupa

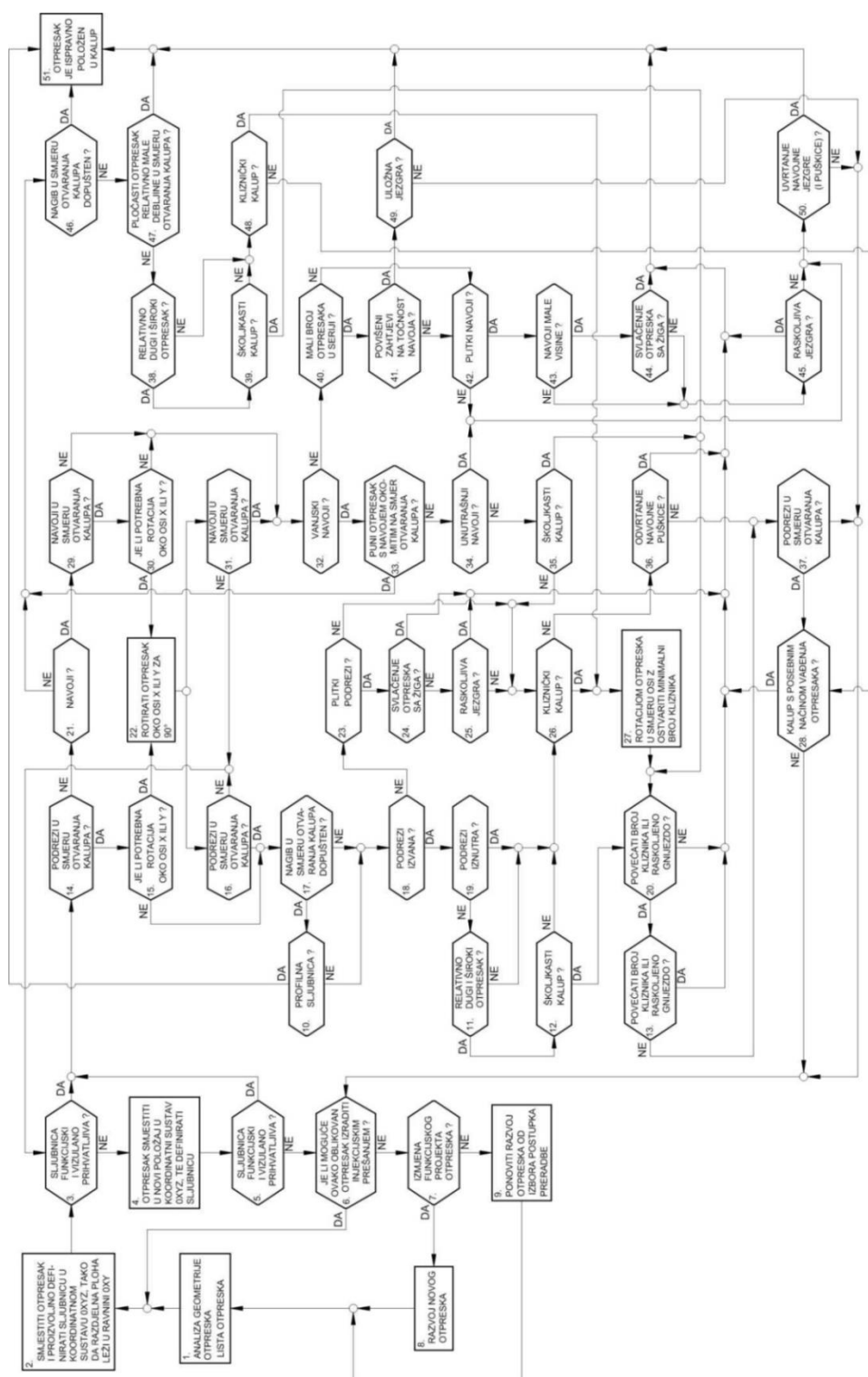
Na temelju analize i opisa poznatih načina vođenja i centriranja elemenata kalupa potrebno je za definirani kalup odrediti konstrukcijska rješenja za ovu parcijalnu funkciju kalupa. Pri tome valja definirati elemente za vanjsko centriranje kalupa i unutrašnje centriranje i vođenje elemenata kalupa s pomoću odgovarajućeg dijagrama odlučivanja [5] (slika 4.8).

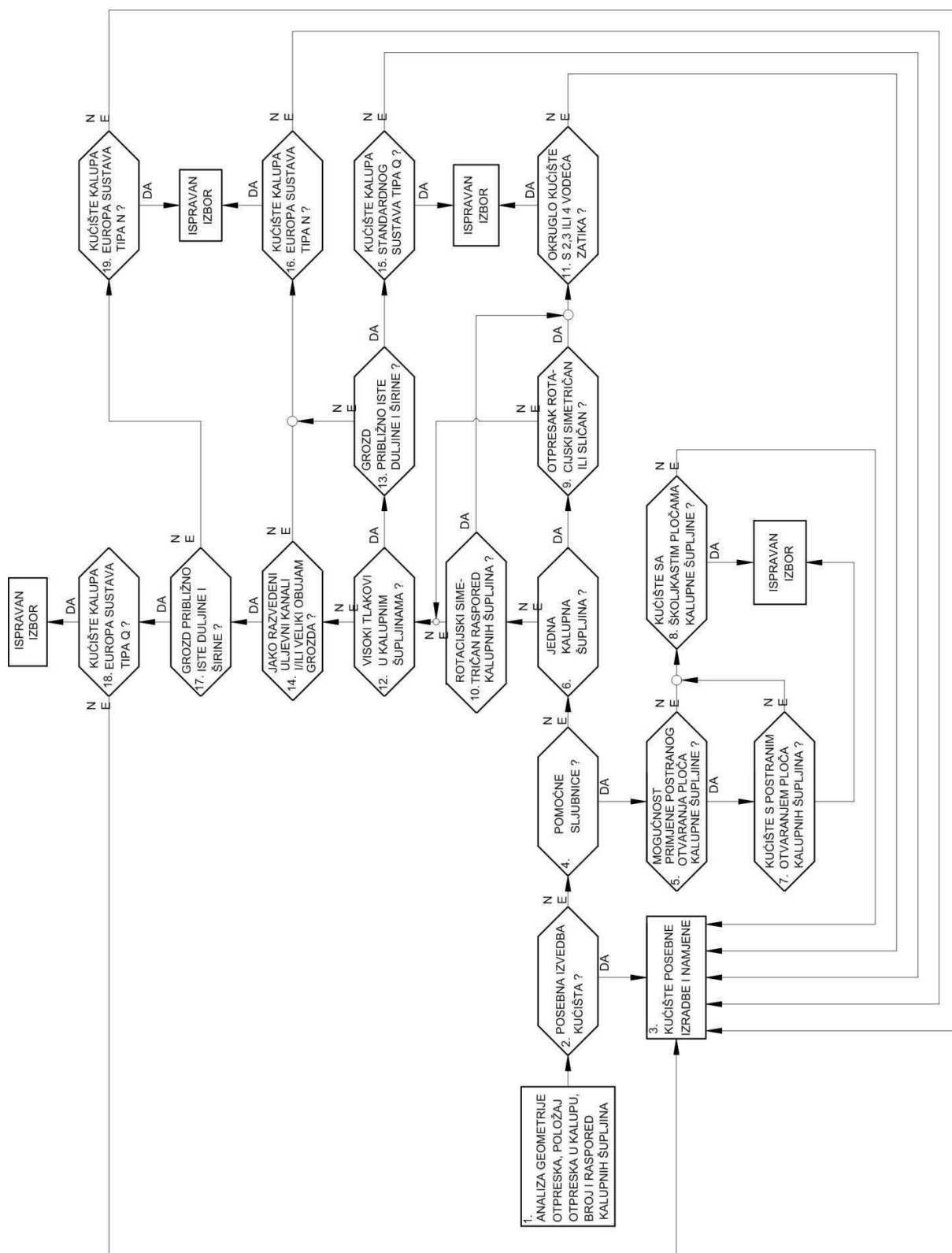
4.1.10. Načelno određivanje sustava za odzračivanje kalupne

Na temelju analize i sistematizacije elemenata sustava za odzračivanje kalupa definiran je dijagram odlučivanja za načelno određivanje sustava za odzračivanje kalupne šupljine [5] (slika 4.9).

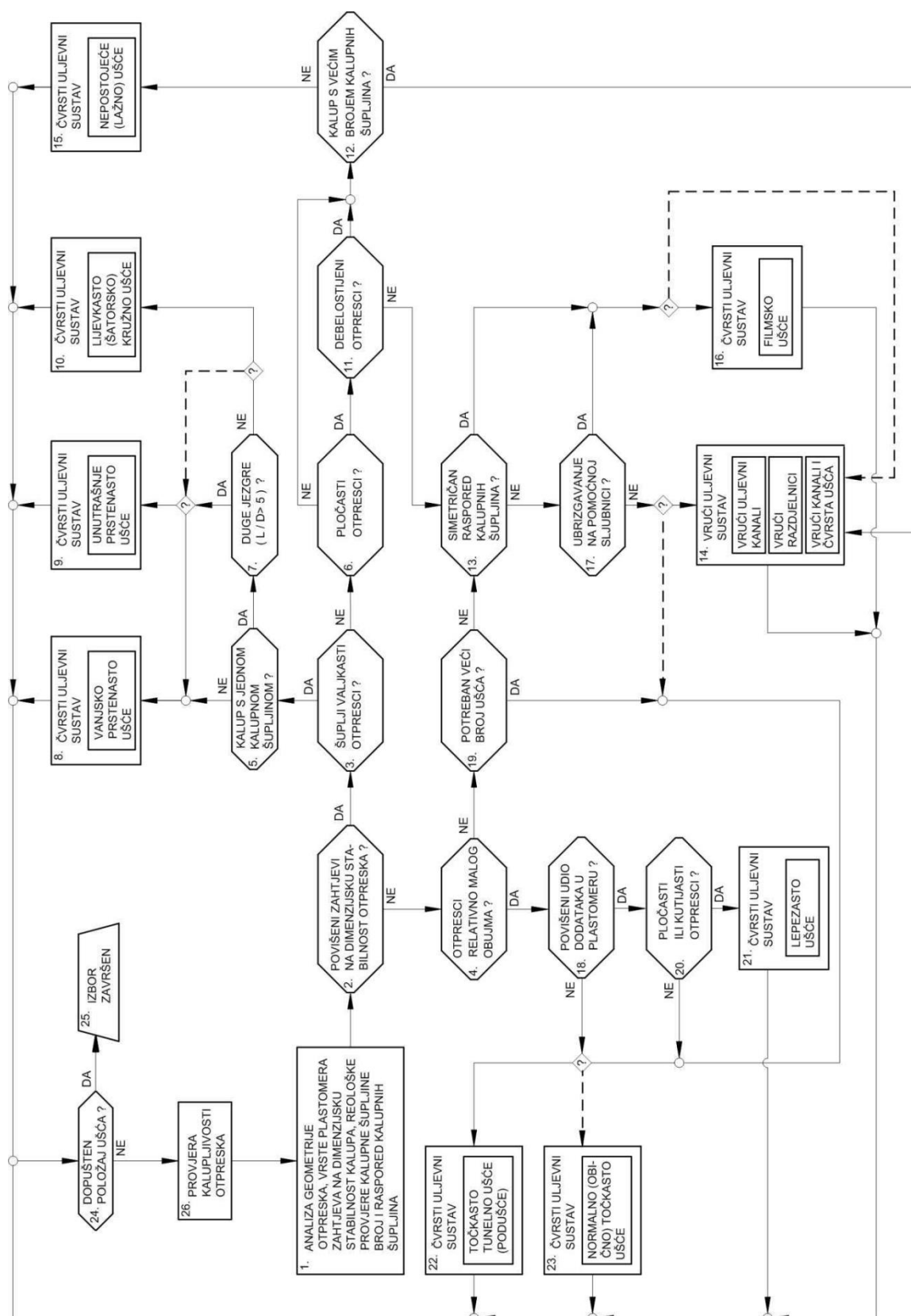
4.1.11. Načelno određivanje posebnih elemenata kalupa

Vec pri definiranju položaja otpreska u kalupu načelno se određuje i vrsta kućišta kalupa, a time i potreba za ostvarivanjem posebnih funkcija kalupa. Primjerice, otpresak s podrezima u smjeru otvaranja kalupa moguće je izraditi u klizničkom kalupu. Radi raznolikosti konstrukcijskih rješenja za posebne funkcije kalupa, te specifičnosti za pojedine slučajeve, za te elemente nije razrađen odgovarajući dijagram odlučivanja. [5]

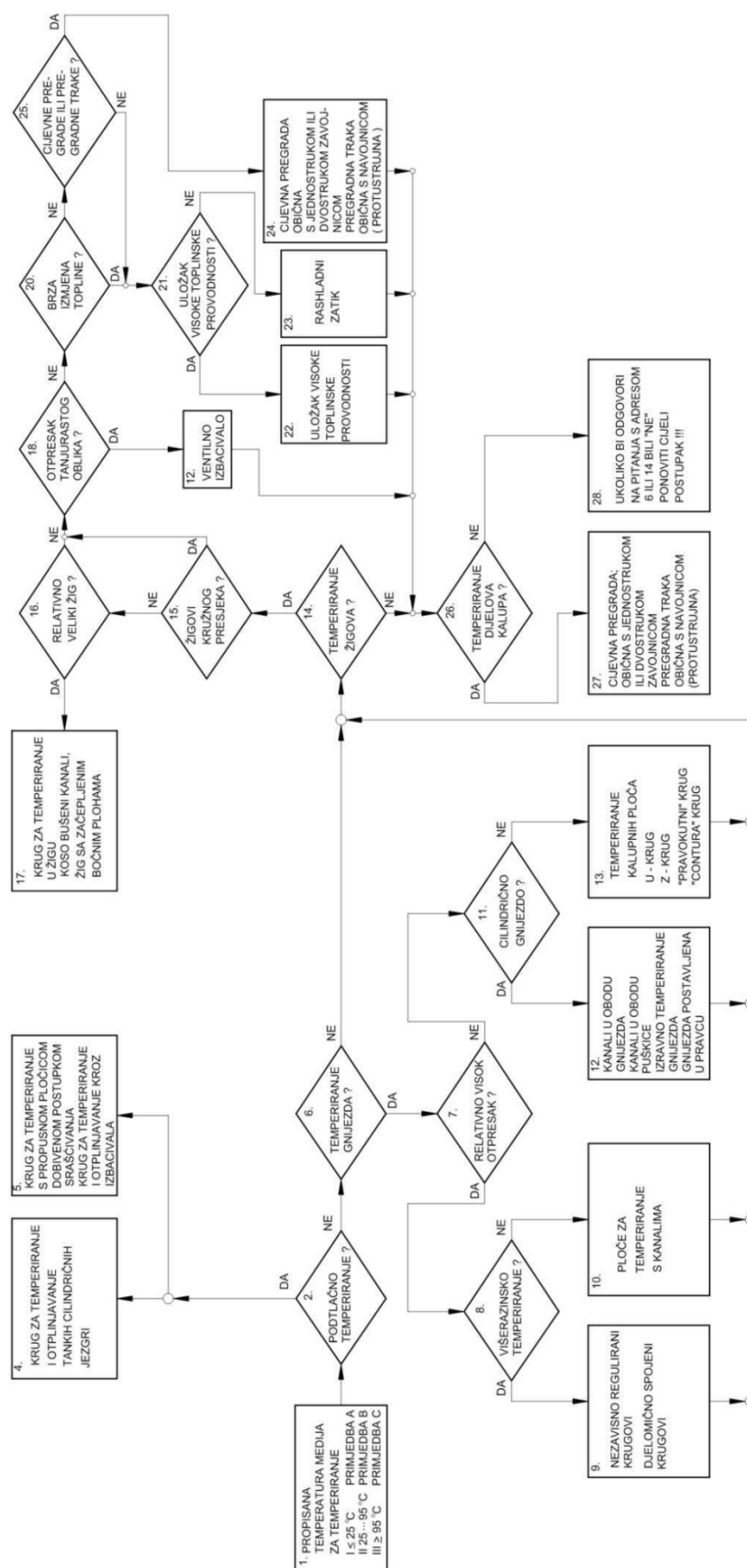




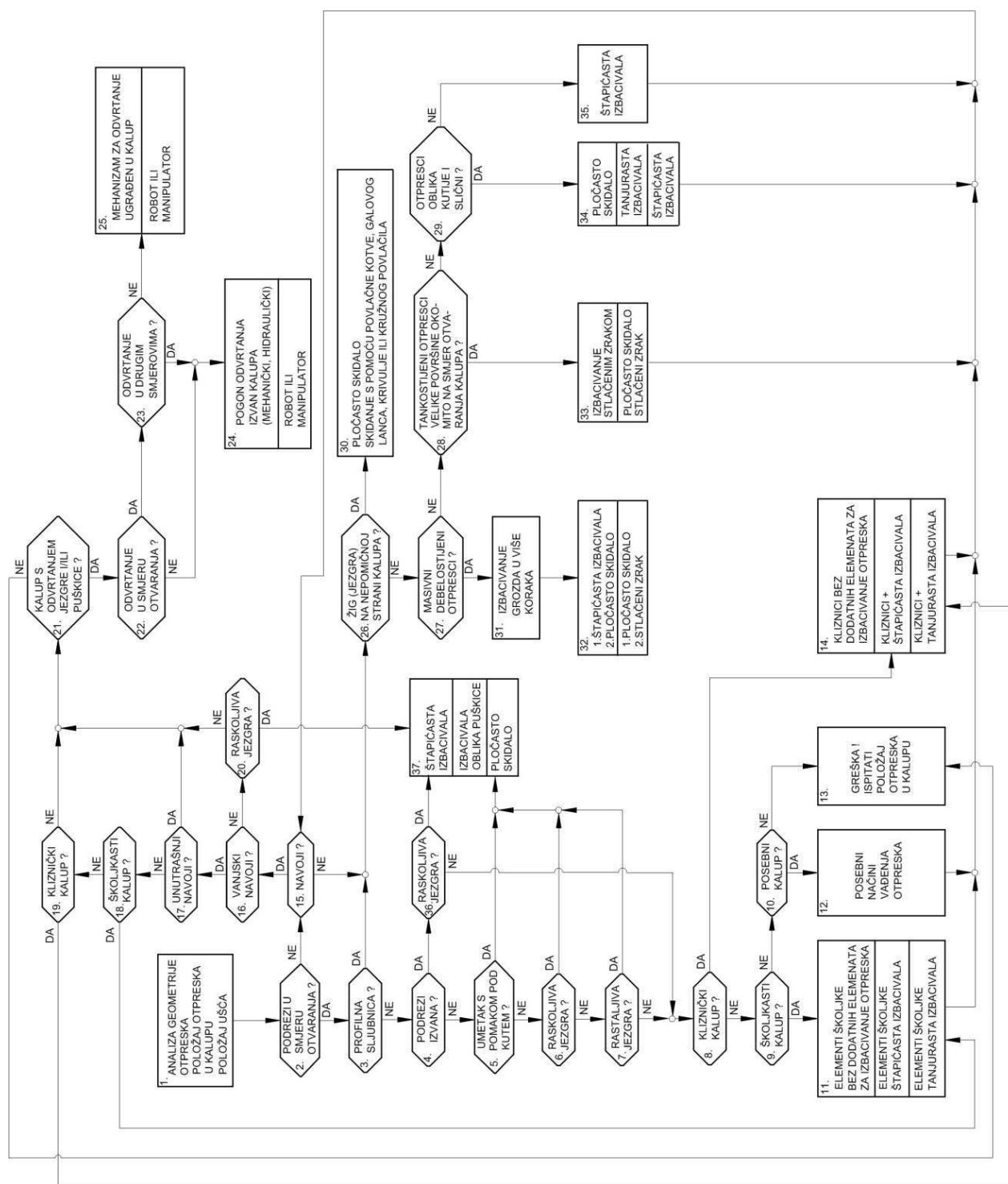
Slika 4.4 Dijagram odlučivanja za načelno određivanje kućišta kalupa [5]



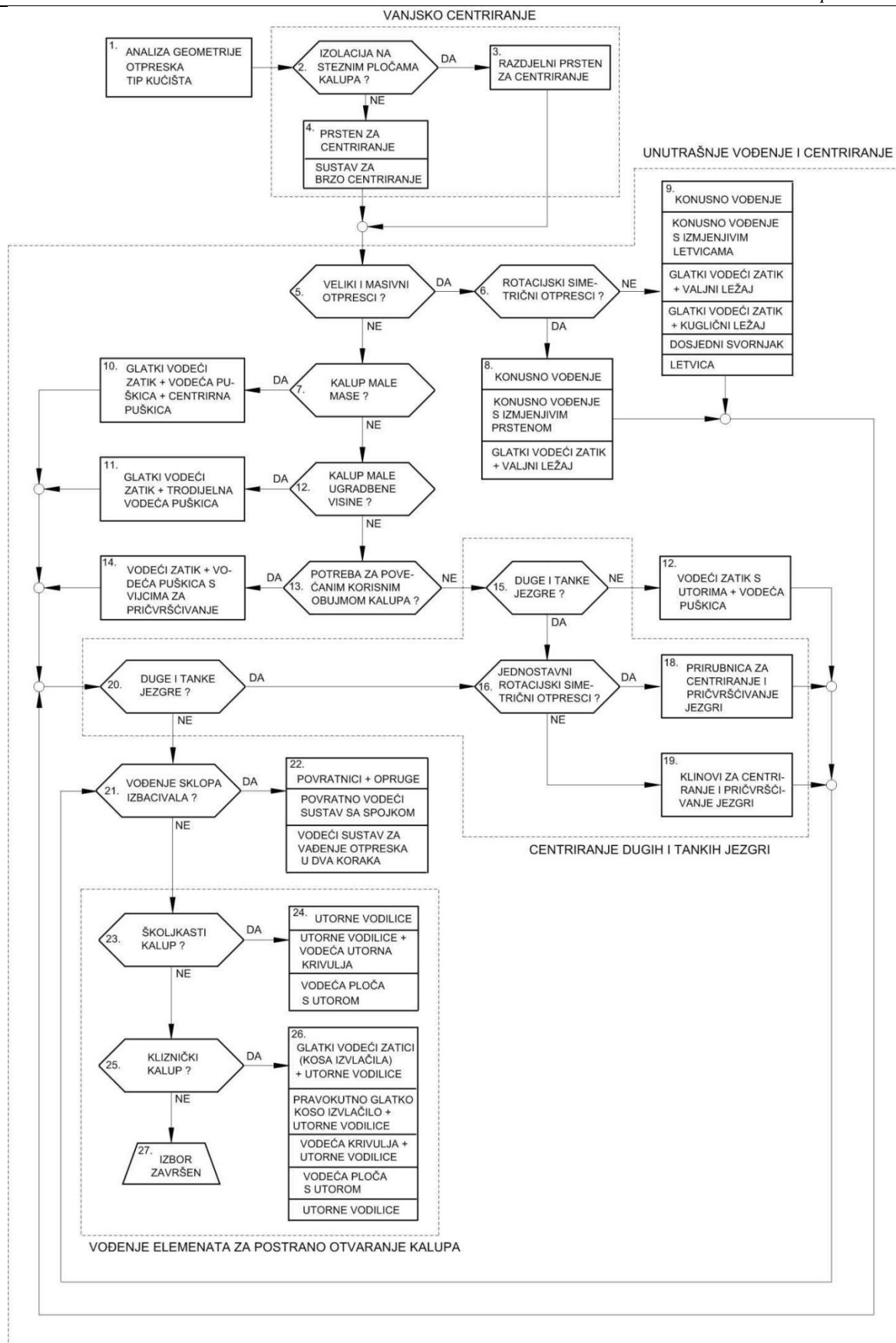
Slika 4.5 Dijagram za načelno određivanje uljavnog sustava i ušća [5]



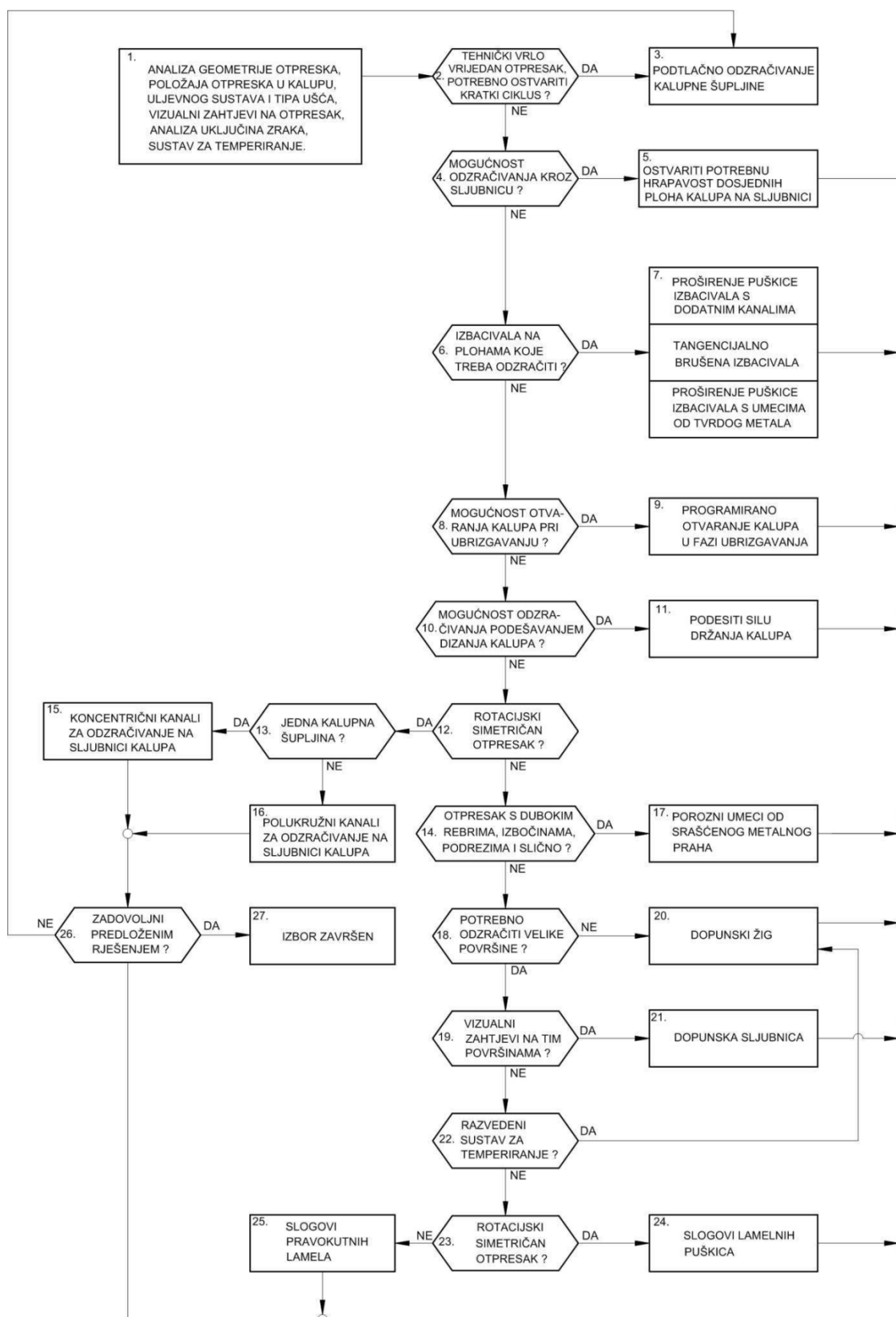
Slika 4.6 Dijagram odlučivanja za načelno određivanje sustava za temperiranje kalupa [5]



Slika 4.7 Dijagram za načelno određivanje sustava za vađenje grozda iz kalupa [5]



Slika 4.8 Dijagram za načelno određivanje sustava za vođenje i centriranje [5]



Slika 4.9 Dijagram za načelno određivanje sustava za ozračivanje kalupa[5]

4.1.12. Optimiranje ostvarivih kombinacija načelnih rješenja parcijalnih funkcija kalupa

Nakon određivanja načelnih rješenja svih parcijalnih funkcija kalupa potrebno je optimirati izbor ostvarivih kombinacija načelnih rješenja. To je posebice važno ukoliko za jednu parcijalnu funkciju postoji veći broj rješenja koja ispunjavaju funkciju. U ovoj fazi razvoja kalupa moguće je optimiranje izvršiti na temelju tehničkih prednosti i nedostataka pojedinih rješenja, pri čemu je potrebno poznavati utjecaje pojedinih parcijalnih funkcija na mogućnost njihovog ostvarivanja (tablica 4.1).[5]

Tablica 4.1 Međusobni utjecaj parcijalnih funkcija kalupa na mogućnost njihovog ostvarivanja [5]

Parcijalna funkcija kalupa		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
C1	Razdijeliti plastomernu taljevinu		++	+			+	+	+	+	?
C2	Praoblikovati i strukturirati taljevinu			++	++		+	+	+		?
C3	Održavati temperaturno polje u kalupu					+	+			+	?
C4	Odzračiti kalupnu šupljinu			+		++					?
C5	Izvaditi grozd iz kalupne šupljine	++		++			++	+	+	+	?
C6	Centrirati i voditi dijelove				++	++		++	++	++	?
C7	Pričvrstiti kalup na ubrizgavalicu						++		++	++	?
C8	Prihvatiti i prenijeti sile				+	++	+	++		++	?
C9	Povezati elemente kalupa					++	++	++	++		?
C10	Posebne funkcije		?	?	?	?	?	?	?		?

4.1.13. Provjera položaja otpreska u kalupu

Kako je na početku faze konceptijskog oblikovanja kalupa bilo potrebno načiniti određene pretpostavke, sada nakon što je određen broj i raspored kalupnih šupljina, te su određena konstrukcijska rješenja pojedinih parcijalnih funkcija kalupa, moguće je provjeriti položaj otpresaka u kalupu. Ovu aktivnost moguće je provesti opetovanom uporabom dijagrama odlučivanja za načelno određivanje položaja otpreska u kalupu (slika 4.3).

4.1.14. Procjena troškova izradbe kalupa

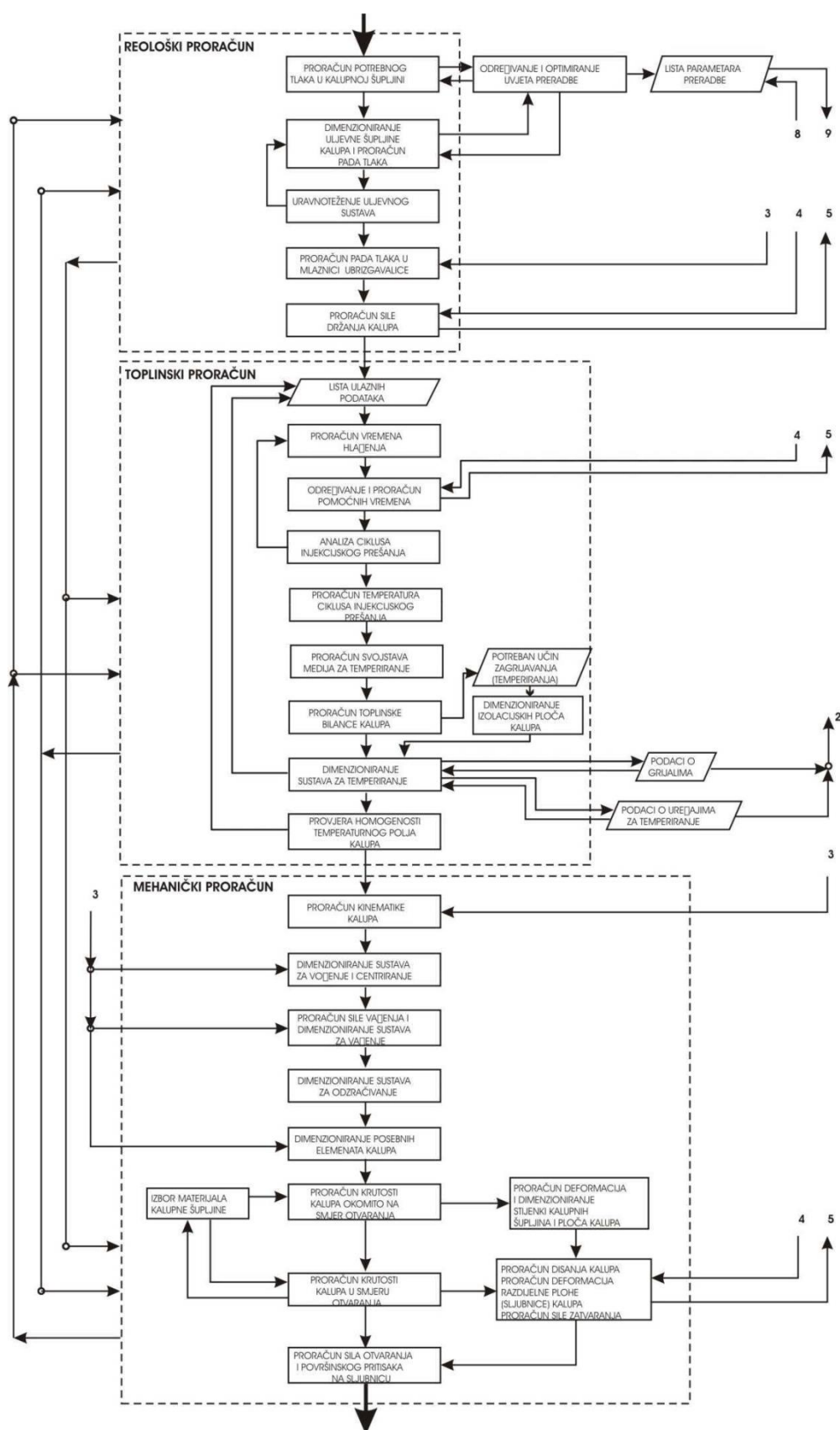
Nakon provedenih prethodnih koraka konceptijskog oblikovanja kalupa potrebno je izvršiti procjenu troškova izradbe kalupa, na temelju koje je moguće dati ocjenu ekonomske opravdanosti razrađenog koncepta kalupa. Procjena troškova izradbe kalupa provodi se na temelju procjene troškova izradbe kalupnih šupljina i svih načelno određenih elemenata kalupa. Pri tome valja raspolagati s podacima o cijeni koštanja standardnih elemenata kalupa koji se ugrađuju u kalup.[5]

Proračun cijene koštanja kalupa treba biti znanstveno i tehnički utemeljen, uz odgovarajuću primjenu provjerenih iskustvenih faktora. Takvim pristupom postiže se [5] :

- povišenje sigurnosti i točnosti određivanja cijene koštanja kalupa,
- skraćenje vremena proračuna cijene koštanja kalupa,
- sigurniji proračun cijene koštanja potpuno novih kalupa za koje ne postoje iskustveni podaci,
- sigurniji proračun bez dugogodišnjeg iskustva na tom polju

4.2. Dimenzioniranje elemenata kalupa

Pri konstruiranju kalupa za injekcijsko prešanje plastomera ovu fazu moguće je načelno podijeliti u tri bloka: reološki, toplinski i mehanički proračun kalupa. Ova faza konstruiranja kalupa prikazana je dijagramom na slici 4.10. [5]



Slika 4.10 Faza dimenzioniranja elemenata kalupa[5]

4.2.1. Reološki proračuna kalupa

Reološki proračun kalupa predstavlja prvi korak u proračunavanju elemenata kalupa. Pri tome, uglavnom se proračunavaju tlakovi u uljevnim i kalupnim šupljinama, te viskozno ponašanje plastomerne taljevine koje se ocjenjuje s pomoću smične viskoznosti taljevine. [5]

4.2.1.1. Određivanje potrebnog pritiska u kalupnoj šupljini

Tlak u kalupnoj šupljini aktivno je opterećenje koje djeluje na stijenke kalupne šupljine i ostale elemente kalupa. Za proračun potrebnog tlaka u kalupnoj šupljini potrebno je poznavati svojstva plastomernog materijala.[5] Pri određivanju potrebnog tlaka u kalupnoj šupljini, najčešće se rabi dijagram $p-v-T$ plastomernog materijala. Određivanju potrebnog tlaka u kalupnoj šupljini potrebno je posvetiti posebnu pozornost stoga, što se ta vrijednost rabi u svim blokovima proračuna.

4.2.1.2. Dimenzioniranje uljavnog sustava kalupa i proračun pada pritiska u uljevnom sustavu

U okviru dimenzioniranja uljavnog sustava kalupa potrebno je odrediti izmjere segmenata uljavnog sustava: uljevka, uljevnih i razdjelnih kanala, te ušća. Osim izmjera segmenata uljavnog sustava potrebno je odrediti i padove pritiska u pojedinom segmentu, da bi se mogao odrediti potrebni pritisak ubrizgavanja (značajka ubrizgavalice). [5] Promjer uljavnog kanala najčešće ne smije biti manji od trostruke vrijednosti najdeblje stijenke kalupa. Uljevni kanali ne smiju biti premali, kako se ulazeća taljevina ne bi ohladila, ili kako ne bi započeo proces polimeriziranja prije nego taljevina dođe do ušća, niti ne smiju biti preveliki, jer bi vrijeme očvršćivanja bilo produljeno. U cilju što manjeg pada pritiska, uljevni se kanali izrađuju bez promjene smjera tečenja, a ako je ipak potrebno promijeniti smjer tečenja, u kanalima se rade zakrivljenja s polumjerom.

4.2.1.3. Određivanje izmjera uljavnog sustava

Određivanje odgovarajuće veličine elemenata uljavnog sustava moguće je na tri načina: iskustveno, simulacijom i proračunima [5]. Jednostavnim izrazom moguće je odrediti početni promjer uljevka, uljavnog i razdjelnog kanala:

$$d_{uk} = \frac{\sqrt{m_o} \cdot \sqrt[4]{l_{uk}}}{21} \quad (4.1)$$

gdje su d_{uk} – promjer uljevnog kanala (m), m_o = masa otpreska (kg), l_{uk} = početna duljina uljevnog kanala (m)

Tijekom dimenzioniranja ušća potrebno je posebnu pozornost posvetiti smičnoj brzini taljevineu području ušća. Dimenzioniranje ušća zavisi od nekoliko čimbenika: kvalitete prerađivanog polimera, oblika i izmjera otpreska, pritiska i brzine ubrizgavanja, temperature taljevine i mase otpreska. [5] Tunelna ušća vrlo se često rabe u kalupima za injekcijsko prešanje plastomera jer omogućuju automatsko odvajanje otpreska od uljevnog sustava.

Tablica 4.2 Preporuke za okvirne izmjere tunelnih ušća [5]

Veličina otpreska	Masa g	Promjer ušća mm	Presjek mm ²
Vrlo mala	0 do 5	0,5	0,19
Vrlo mala do mala	5 do 10	0,62	0,31
Mala	10 do 20	0,75	0,44
Mala do srednja	20 do 40	1,00	0,78
Srednja	40 do 100	1,25	1,23
Srednja do velika	100 do 200	1,50	1,76
Velika	više od 200	2,00	3,14

4.2.1.4. Proračuna pada tlaka u uljevnom sustavu

Nakon određivanja početnih izmjera segmenata uljevnog sustava potrebno je proračunati padove pritiska u pojedinom segmentu. Pri tome su uglavnom na raspolaganju analitička Hagen-Poiseullova metoda proračuna za kružne i pravokutne segmente uljevnog sustava. Pad pritiska u segmentu uljevnog sustava kružnog oblika prema Hagen-Poiseullovom moguće je izračunati na temelju izraza[5]:

$$\Delta p_{us} = \frac{128 \cdot \eta \cdot l \cdot q_v}{\pi \cdot d^4} \quad (4.2)$$

gdje su: Δp_{us} - pad pritiska u segmentu uljevnog sustava (Pa, N/m²), η - smična viskoznost plastomerne taljevine (Pas), l - duljina segmenta uljevnog sustava (m), q_{uv} - obujamni protok plastomerne taljevine (m³/s), d - promjer segmenta uljevnog sustava (m).

Obujamni protok plastomerne taljevine q_v (m³/s):

$$q_v = \frac{V_u}{t_u} \quad (4.3)$$

gdje su: V_u – obujam ubrizgavanja (m³), t_u – vrijeme ubrizgavanja (s).

Smična brzina plastomerne taljevine:

$$\gamma' = \frac{32 \cdot q_v}{\pi \cdot d^3} \quad (4.4)$$

Smična viskoznost η :

$$\eta = K \cdot \gamma'^m \quad (4.5)$$

gdje su: K – konstanta materijala, γ' - smična brzina taljevine (s⁻¹), m – eksponent tečenja.

Konstanta materijala K :

$$K = K_{OT} \cdot e^{-\beta \cdot T_r} \quad (4.6)$$

gdje su: K_{OT} – konstanta materijala (kg/m² s^{1-m})

Promjena temperature ΔT_u :

$$\Delta T_u = \frac{\Delta p_u}{\rho \cdot c_p} \quad (4.7)$$

gdje su: Δp_u - pad pritiska (Pa), ρ – gustoća plastomerne taljevine (g/cm³), c_p –specifični toplinski kapacitet plastomerne taljevine (J/kgK).

Dok za je pad pritiska u pravokutnom obliku segmenta uljevnog sustava moguće napisati izraz [5]:

$$\Delta p_{us} = \frac{32 \cdot \phi \cdot \bar{v} \cdot \eta \cdot l}{D_h^2} \quad (4.8)$$

gdje su: ϕ - koeficijent oblika segmenta uljevnog sustava, \bar{v} - srednja brzina tečenja

plastomerne taljevine (m/s), D_h - hidraulički promjer segmenta uljevnog sustava (m).

Kako bi se ostvarili jednaki uvjeti punjenja svih kalupnih šupljina kod kalupa s više kalupnih šupljina, potrebno je provesti uravnoteženje uljevnog sustava. Uravnoteženjem uljevnog sustava osiguravaju se jednaki uvjeti tečenja plastomerne taljevine do svih kalupnih šupljina.

Izabrana ubrizgavalica treba moći ostvariti potreban pritisak u kalupnoj šupljini te pokriti padove pritiska u segmentima uljevnog sustava. Pad pritiska u plastomernoj taljevini ostvaruje se i njenim prolaskom kroz mlaznicu ubrizgavalice. Stoga je potrebno proračunati taj pad pritiska, pribrojiti ga padovima pritiska u uljevnom sustavu i potrebnom pritisku u kalupnoj šupljini, te provjeriti može li izabrana ubrizgavalica ostvariti potreban pritisak ubrizgavanja [5]:

$$p_u \geq \Delta p_n + \Sigma \Delta p_{us} + p_k \quad (4.9)$$

gdje je: Δp_n - pad pritiska u mlaznici ubrizgavalice (Pa, N/m²).

Sila držanja kalupa javlja se kao reakcija djelovanja pritiska u kalupnoj šupljini u smjeru otvaranja kalupa na tlocrtnu ploštinu otpreska. Određivanje sile držanja kalupa za injekcijsko prešanje ima važnu ulogu u pravilnoj konstrukciji kalupa zbog mogućeg utjecaja na izbor odgovarajuće ubrizgavalice. Uslijed nedostatne sile držanja mogu nastati otpresci bitno različitih debljina stijenki ili otpresci sa srhom, a moguća su i oštećenja kalupa i ubrizgavalice. Sila držanja računa se najčešće prema izrazu [5]:

$$F_d = p_k \cdot (S_{ot} + S_{us}) \cdot k \quad (4.10)$$

gdje su: F_d - sila držanja kalupa (N), p_k - pritisak u kalupnoj šupljini u smjeru otvaranja kalupa (N/m²), S_{ot} - ploština otpreska (m²), S_{us} - ploština uljevnog sustava (m²), k - faktor sigurnosti (1,1 do 1,2).

4.2.2. Toplinski proračun kalupa

Učinkovitim temperiranjem kalupa moguće je optimirati vrijeme ciklusa injekcijskog prešanja, te postići ujednačenije temperaturno polje u kalupu. Konstruktor kalupa treba biti svjestan da ponekad i do 80 % ciklusa injekcijskog prešanja čini vrijeme hlađenja/zagrijavanja otpresaka.

Temperiranje ne smije biti niti prebrzo, niti presporo, već je potrebno pronaći kompromis između proizvodnosti kalupa i svojstava otpreska. Kako bi se postiglo učinkovito temperiranje kalupa, potrebno je provesti odgovarajući toplinski proračun kalupa. [5]

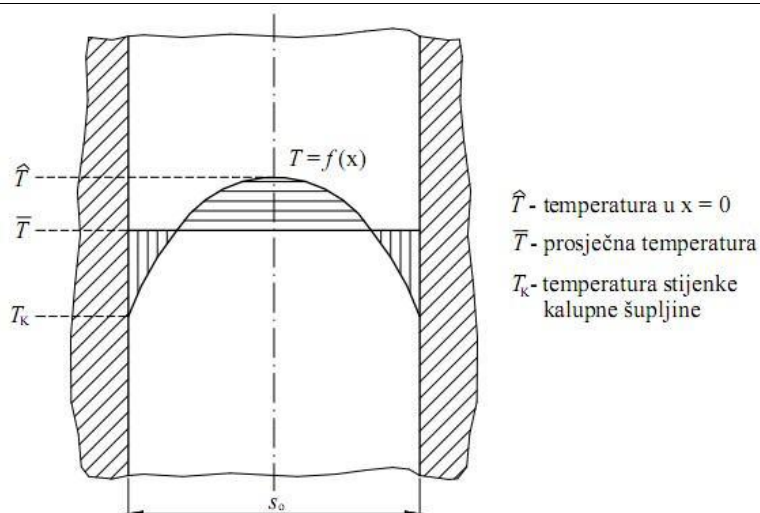
Kako bi se proračunala odgovarajuća vremena ciklusa injekcijskog prešanja, potrebno je načiniti analizu ciklusa. Najvažnije vrijeme u ciklusu injekcijskog prešanja je vrijeme hlađenja otpreska. Vrijeme hlađenja otpreska je vrijeme koje je potrebno za ohlađivanje plastomerne taljevine od temperature pri kojoj se ubrizgava u kalupnu šupljinu, do temperature pri kojoj se otpresak može sigurno izvaditi iz kalupne šupljine. [5]

$$t_h = \frac{s_o^2}{K_o \cdot a_{ef} \cdot \pi^2} \cdot \ln \left[K_u \cdot \frac{T_T - T_k}{T_{PO} - T_K} \right] \quad (4.11)$$

$$a_{ef} = a_1 \cdot T_k + b_1 \quad (4.12)$$

gdje su: t_h - vrijeme hlađenja otpreska (s), s_o - karakteristična izmjera otpreska (debljina stijenke) (m), K_o - koeficijent oblika otpreska, a_{ef} - efektivna toplinska difuznost (m^2/s), K_u - koeficijent unutrašnjosti otpreska, T_T - temperatura plastomerne taljevine (K), T_k - temperatura stijenke kalupne šupljine (K), T_{PO} - temperatura postojanosti oblika otpreska (K), a_1, b_1 - koeficijenti jednadžbe pravca (m^2/sK).

Pri određivanju vremena hlađenja otpreska moguće je postaviti dva kriterija. Prvi kriterij je postizanje odgovarajuće temperature postojanosti oblika otpreska u samom središtu otpreska, a drugi kriterij je postizanje prosječne temperature postojanosti oblika otpreska.



Slika 4.11 Kriteriji određivanja temperature postojanosti oblika otpreska [5]

Koeficijente KO i KU moguće je očitati iz tablice 4.3.

Tablica 4.3 Koeficijenti unutrašnjosti i oblika za različite oblike otpreska [5]

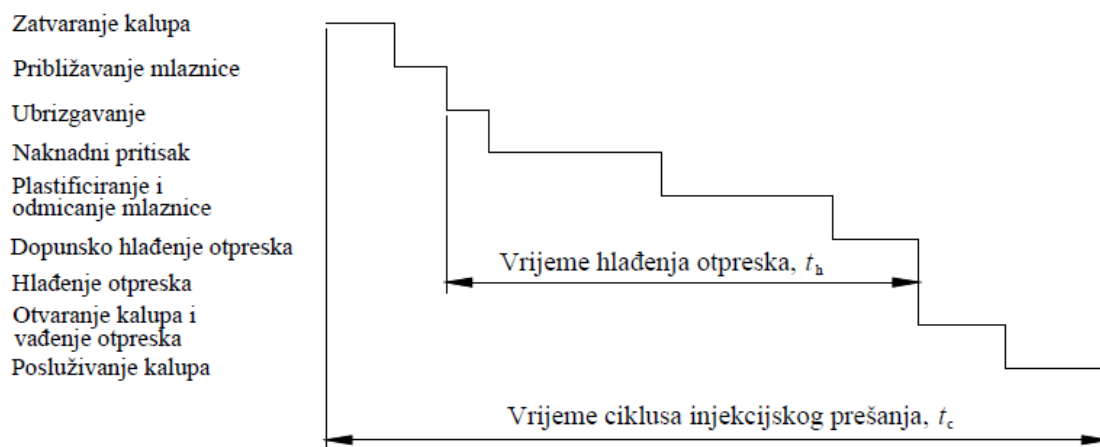
Oblik otpreska			\hat{t}_h	\bar{t}_h
	a_{10}	a_{20}	K_{u1}	K_{u2}
Ploča $b_o = s_o$	0	0	$4/\pi$	$8/\pi^2$
Cilindar $d_o = s_o$ $l_o = \infty$	0	1,15921	1,599	0,975
Cilindar $d_o = s_o$ l_o	1,15956	d_o / l_o	$6,396/\pi$	$7,802/\pi^2$
Kugla $d_o = s_o$	1	$\sqrt{2}$	2	1,178
Kvadar s_o, h_o, l_o $l_o \text{ i } h_o > b_o$	s_o / h_o	s_o / l_o	$64/\pi^3$	$512/\pi^6$
Kvadar b_o, h_o $l = \infty$	s_o / h_o	0	$16/\pi^2$	$64/\pi^4$
Kocka s_o	1	1	$64/\pi^3$	$512/\pi^6$
Šuplji cilindar (bez unutrašnjeg hlađenja) $d_v - d_u = s_o$	0	0	$4/\pi$	$8/\pi^2$
Šuplji cilindar (obostrano hlađen) $(d_v - d_u) / 2 = s_o$	0	0	$4/\pi$	$8/\pi^2$

Vrijeme ciklusa injekcijskog prešanja (t_c) sastoji se od vremena hlađenja otpreska i pomoćnih vremena [5]:

$$t_c = t_h + t_p \quad (4.13)$$

gdje su: t_c - vrijeme ciklusa injekcijskog prešanja (s), t_p - pomoćno vrijeme (s).

Pomoćno vrijeme ciklusa injekcijskog prešanja sastoji se iz nekoliko vremena koja su funkcije kalupa i ubrizgavalice (slika 4.12). To su vrijeme podmazivanja i čišćenja kalupa, vrijeme posluživanja otvorenog kalupa, vrijeme zatvaranja i vrijeme otvaranja kalupa, vrijeme ukapčanja, vrijeme približavanja mlaznice ubrizgavalice, te vrijeme vađenja otpreska iz kalupne šupljine.

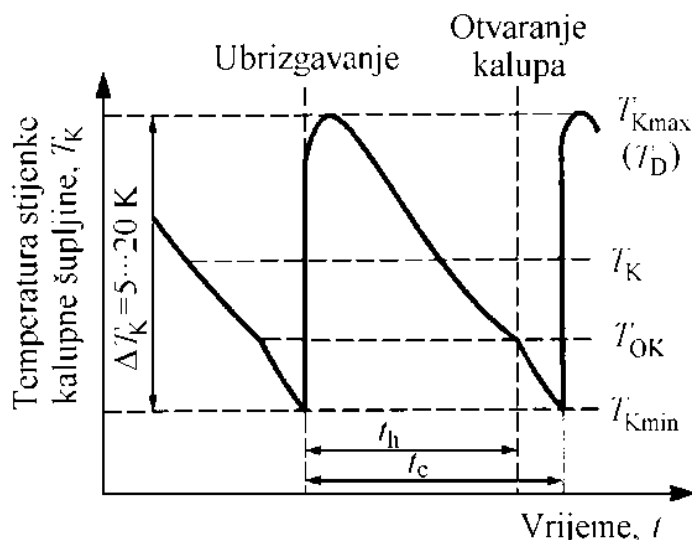


Slika 4.12 Analiza ciklusa injekcijskog prešanja [1]

Kako se tijekom ciklusa injekcijskog prešanja temperatura stijenke kalupne šupljine mijenja, ovdje se ne može govoriti o jednoj temperaturi, već o temperaturnom polju kalupa (slika 4.13). Stoga je tijekom toplinskog proračuna kalupa potrebno izračunati važnije temperature ciklusa injekcijskog prešanja. Najviša temperatura ciklusa injekcijskog prešanja naziva se dodirnom temperaturom. To je temperatura koja se uspostavlja na stijenci kalupne šupljine u trenutku dodira s plastomernom taljevinom, a računa se prema izrazu [5]:

$$T_D = \frac{b_K \cdot t_p + b_p \cdot T_T}{b_K + b_p} \quad (4.14)$$

gdje su: T_D - dodirna temperatura stijenke kalupne šupljine (K), b_K - toplinska prodornost materijala kalupa ($\text{Ws}^{1/2}\text{m}^{-2}\text{K}^{-1}$), b_p - toplinska prodornost polimernog materijala ($\text{Ws}^{1/2}\text{m}^{-2}\text{K}^{-1}$).



Slika 4.13 Temperaturno polje stijenke kalupne šupljine [5]

Nakon što je otpresak postigao temperaturu postojanosti oblika, smije ga se izvaditi iz kalupa. U tom trenutku kalup se otvara, a temperatura stijenke kalupne šupljine u tom trenutku naziva se temperaturom otvaranja kalupa (T_{OK}). Kako temperaturu stijenke kalupne šupljine najčešće propisuju proizvođači plastomera, moguće je izračunati temperaturu otvaranja kalupa prema izrazu [5]:

$$t_{OK} = 2 \cdot T_K - T_D \quad (4.15)$$

Svojstva medija za temperiranje koja su potrebna za daljnji toplinski proračun kalupa su: gustoća, kinematička viskoznost, toplinska provodnost, specifični toplinski kapacitet i Prandtlova značajka. Ukoliko su temperature medija niže od $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ili više od $95\text{ }^{\circ}\text{C}$, potrebno je primjerice vodi dodavati sredstva za sprječavanje smrzavanja ili isparivanja. Tada je potrebno izračunati spomenuta svojstva za mješavinu medija za temperiranje.

Izmjena topline u kalupima za injekcijsko prešanje plastomera obuhvaćena je bilancom izmjene topline koja glasi: Suma izmijenjenih toplina u kalupu jednaka je nuli. Tijekom procesa injekcijskog prešanja, pri ubrizgavanju plastomerne taljevine u kalupnu šupljinu, dovodi se taljevinom određena količina topline, koju djelomice preuzima kalup tijekom hlađenja otpreska (slika 4.14). Taljevina uvijek predaje toplinu i ta je topline prema konvenciji uvijek pozitivnog predznaka. Ukoliko se temperature na površini kalupa i okoline razlikuju, postoji izmjena topline između kalupa i okoline.

Za postizanje propisanog temperaturnog polja u kalupu, potrebno je kalup zagrijavati ili hladiti medijem za temperiranje.[6] Kalup je izmjenjivač topline. Izmjena topline u kalupima za injekcijsko prešanje plastomera obuhvaćena je bilancom izmjene topline koja glasi:

$$\Phi_P + \Phi_O + \Phi_M = 0 \quad (4.16)$$

gdje su: Φ_P - toplina koju plastomer preda kalupu u jedinici vremena (W), Φ_O - toplina izmijenjena s okolinom u jedinici vremena (W), Φ_M - toplina izmijenjena s medijem za temperiranje u jedinici vremena (W).

U jedinici vremena plastomerna taljevina dovede i preda kalupu određenu količinu topline koju je moguće odrediti na temelju jednadžbe [5]:

$$\Phi_P = \frac{m_g \cdot (h_2 - h_1)}{t_c} \quad (4.17)$$

gdje su: m_g - masa grozda (kg), h_2 - specifična entalpija pri temperaturi i tlaku preradbe (J/kg), h_1 - specifična entalpija pri prosječnoj temperaturi otpreska u trenutku njegova napuštanja kalupa (J/kg).

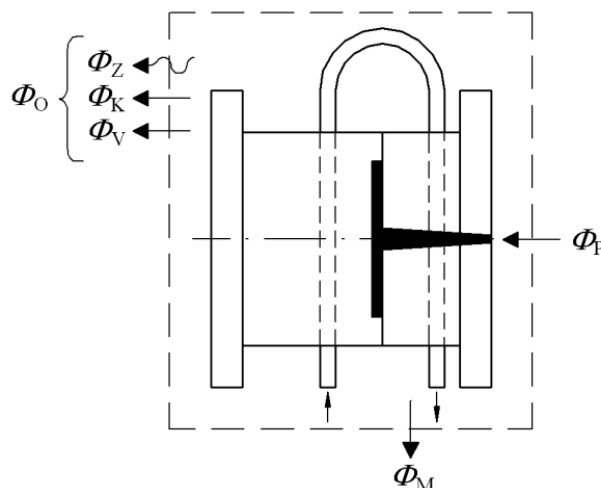
Razlika entalpija računa se prema izrazu [11]:

$$h_2 - h_1 = [(a_3 \cdot T_T + b_3) - (a_2 \cdot T_{PO} + b_2)] \quad (4.18)$$

Toplina koja se izmjenjuje s okolinom sastoji se od topline koju kalup izmijeni zračenjem i konvekcijom preko stranica i sljubnice kalupa, te provođenjem s nosačima kalupa ubrizgavalice (slika 4.14) [5]:

$$\Phi_O = \Phi_{St} + \Phi_{Slj} + \Phi_{Sv} \quad (4.19)$$

gdje su: Φ_{St} - toplina izmijenjena zračenjem i konvekcijom kroz stranice kalupa u jedinici vremena (W), Φ_{Slj} - toplina izmijenjena zračenjem i konvekcijom kroz sljubnicu kalupa u jedinici vremena (W), Φ_{Sv} - toplina izmijenjena provođenjem kroz nosače kalupa ubrizgavalice u jedinici vremena (W).



Slika 4.14 Toplinska bilanca kalupa [5]

Toplinu koju kalup izmijeni s okolinom preko stranica kalupa sastoji se od topline izmijenjene mehanizmom konvekcije i zračenja. Izračunavanjem korigirane vrijednosti koeficijenta toplinske prijelaznosti α_{st}^* moguće je ta dva mehanizma izmjene topline obuhvatiti izrazom [11]:

$$\Phi_{st} = 2 \cdot A_1 \cdot \alpha_{st}^* \cdot (T_{VK} - T_o) \quad (4.20)$$

gdje su: A_1 - površina jedne stranice kalupa (m^2), α_{st}^* - korigirani koeficijent toplinske prijelaznosti (obuhvaća zračenje i konvekciju) (W/m^2K), T_{VK} - temperatura vanjske stijenke kalupa (K), T_o - temperatura okoline (K).

Toplinu koju kalup provođenjem izmijeni s nosačima kalupa na ubrizgavalici iznosi [11]:

$$\Phi_v = 2 \cdot A_{KS} \cdot \beta_v^* \cdot (T_{VK} - T_o) \quad (4.21)$$

Prema jednadžbi 4.9, medij za temperiranje treba predati sljedeću količinu topline [11]:

$$\Phi_M = -\Phi_P - \Phi_O \quad (4.22)$$

U okviru dimenzioniranja sustava za temperiranje kalupa potrebno je odrediti promjer i površinu kanala za temperiranje. Pri tome se promjer kanala za temperiranje određuje s pomoću izraza [6]:

$$d_K = \frac{b_o}{n_{KT} \cdot x_{KT} \cdot \pi} \quad (4.23)$$

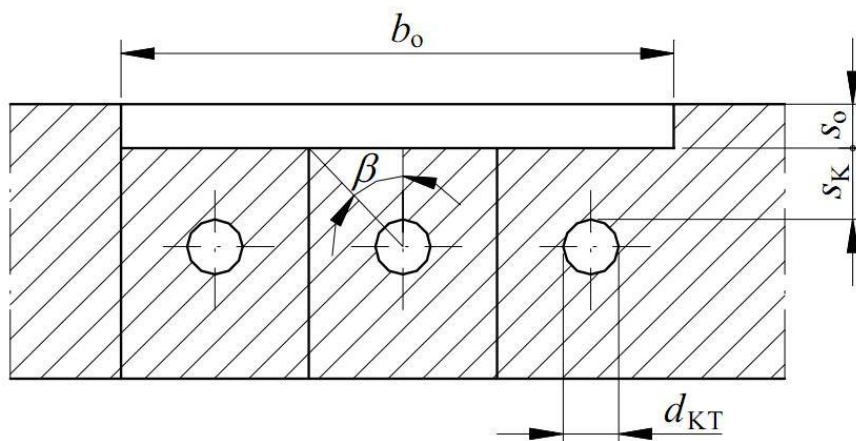
gdje su: b_o - širina otpreska (m), n_{KT} - broj kanala za temperiranje, x_{KT} - faktor površine kanala za temperiranje

Pri tome je dobiveni rezultat potrebno radi izvedbenih razloga zaokružiti na najbliži cijeli broj, pa se tada dobiva vrijednost d_{KT}^* . Površina kanala za temperiranje računa se prema izrazu [11]:

$$A_{KT} = d_{KT}^* \cdot l_{KT} \cdot \pi \quad (4.24)$$

gdje je l_{KT} - duljina kanala za temperiranje (m)

Tijekom dimenzioniranja sustava za temperiranje također se određuje debljina stijenke kalupne šupljine (slika 4.15) prema jednom od četiri kriterija: kriterij dopuštenog smičnog naprezanja, kriterij dopuštenog savojnog naprezanja, kriterij akumuliranja topline i kriterij dopuštenog kuta izoterma.



Slika 4.15 Debljina stijenke kalupne šupljine [11]

Nakon izbora debljine stijenke kalupne šupljine potrebno je provjeriti progib kalupne ploče koja je oslabljena izradbom kanala za temperiranje. Dopušteni progib stijenke kalupne šupljine za plastomerne materijale iznosi oko 1 μm . Provjera progiba provodi se prema izrazu [11]:

$$f_{\max} \leq \frac{p_K \cdot d_K^2}{s_K} \cdot \left(\frac{d_K^2}{32 \cdot E_r \cdot s_K^2} + \frac{0.15}{G} \right) \quad (4.25)$$

gdje su: f_{\max} - maksimalni progib stijenke kalupne šupljine (m), E_r - modul rasteznosti materijala stijenke kalupne šupljine (N/m^2), G - modul smičnosti materijala stijenke kalupne šupljine (N/m^2).

Tijekom dimenzioniranja sustava za temperiranje potrebno je odrediti i količinu medija za temperiranje, njegovu brzinu te pad pritiska u kanalima za temperiranje radi pravilnog izbora pumpe medija za temperiranje. Pri tome se teži postizanju turbulentnog strujanja medija.

4.2.3. Mehanički proračuna kalupa

U okviru analitičkog mehaničkog proračuna kalupa potrebno je provesti nekoliko aktivnosti. Tosu proračuni kinematike kalupa, dimenzioniranje pojedinih elemenata kalupa, te proračuni krutosti kalupa u smjeru otvaranja i okomito na smjer otvaranja kalupa.[5]

Proračun kinematike kalupa obuhvaća proračune pokretnih elemenata kalupa, duljine njihova gibanja i njihove duljine. Proračun kinematike kalupa posebice je važan radi osiguranja ispravnog i sigurnog vađenja otpreska iz kalupa. Prva aktivnosti kinematičkog proračuna kalupa je proračun potrebnog otvaranja kalupa odmičanje pomične od nepomične polovice kalupa) koje ovisi o visini grozda (h_g) i visini otpreska (h_o). Pri tome treba osigurati nesmetano vađenje grozda iz kalupa, pa se navedenim visinama dodaje sigurnosni dodatak (h_d). [5]

$$h_{OK} = h_g + h_{op} + h_d \quad (4.26)$$

gdje su: h_{OK} - potrebno otvaranje kalupa (m), h_g - visina grozda (m), h_{op} - visina otpreska u pomičnom dijelu kalupa (m), h_d - dodatno otvaranje kalupa (m).

Pri tome visina grozda iznosi:

$$h_g = h_o + h_u \quad (4.27)$$

gdje su: h_o – visina otpreska (m), h_u – visina uljevkica (m)

Iz projektne skice kalupa proizlazi duljina kalupa (ukupna visina svih kalupnih ploča). Na temelju potrebne visine otvaranja kalupa i visine kalupa moguće je izračunati minimalni potrebni razmak između steznih ploča ubrizgavalice. [5]

$$h_{Umin} = h_{OK} + L_K \quad (4.28)$$

gdje je: h_{Umin} – minimalni potrebni razmak steznih ploča ubrizgavalice (m)

Usporedbom ove vrijednosti s maksimalnim razmakom između ploča ubrizgavalice moguće je utvrditi zadovoljava li izabrana ubrizgavalica postavljenom uvjetu ($h_{Umin} \leq H_{Umax}$ – maksimalni razmak steznih ploča ubrizgavalice).

U sljedećem koraku proračunavaju se potrebni hodovi i duljine elemenata za vađenje otpreska iz kalupa. U najjednostavnijem slučaju treba proračunati potrebno gibanje izbacivala za pouzdano vađenje otpreska. Duljina puta izbacivala (h_i) računa se prema izrazu [5]:

$$h_i = h_{op} + h_{di} \quad (4.29)$$

gdje su: h_i - duljina puta izbacivala (m), h_{di} - dopunski (sigurnosni) hod izbacivala (m).

Na temelju načelno određenih rješenja sustava za vođenje i centriranje potrebno je izvršiti njihovo dimenzioniranje obzirom na čvrstoću i deformacije. Potrebno je naglasiti da se najčešće ovi elementi odabiru kao standardni, te nije potrebno njihovo dimenzioniranje, već treba izabrati odgovarajuće standardne elemente kalupa (izmjere elemenata sustava za vođenje i centriranje prilagođene su izmjerama ploča kućišta kalupa). [5]

Pri proračunu kalupa za injekcijsko prešanje plastomera potrebno je voditi računa i o silama vađenja otpreska iz kalupne šupljine, te dimenzioniranju elemenata sustava za vađenje otpreska iz kalupa (izbacivala). U načelu, silu vađenja otpreska iz kalupa moguće je odrediti pomoću izraza[5]:

$$F_v = \mu \cdot p_K \cdot A_O \quad (4.30)$$

gdje su: μ - faktor trenja između plastomernog materijala i elemenata kalupne šupljine, p_K – tlak u kalupnoj šupljini (N/m^2), A_O - površina elemenata kalupne šupljine u dodiru s otpreskom (m^2).

Pri određivanju izmjera kanala za odzračivanje treba pažljivo definirati duljinu i presjek kanala koji će omogućiti nesmetan izlazak zraka iz kalupne šupljine, ali koji će spriječiti ulaz plastomerne taljevine u kanal čime bi se kanal začepio. [5]

Ukoliko kalup treba ispuniti posebne funkcije kalupa, tj. ukoliko sadrži posebne elemente koji oblikuju kalupnu šupljinu (npr. duge jezgre) potrebno je načiniti njihov proračun. U okviru proračuna krutosti kalupa okomito na smjer otvaranja kalupa potrebno je proračunati

deformacije stijenki kalupne šupljine okomito na smjer otvaranja kalupa. Njihove deformacije narušavaju tolerancije izmjera i oblika otpreska i sigurnost funkcioniranja čitavog kalupa. [5]

Pod proračunom krutosti kalupa u smjeru otvaranja, razumijevaju se aktivnosti proračuna disanja kalupa, proračuna deformacije (progiba) sljubnice i proračuna sile zatvaranja kalupa. Pod pojmom disanja kalupa podrazumijeva se razdvajanje pomičnog od nepomičnog dijela kalupa tijekom djelovanja sile uzgona u kalupnoj šupljini. Dopusšteno disanje kalupa kreće se u rasponu 0,01 do 0,02 mm.[5]

Proračun deformacije sljubnice podrazumijeva u stvari proračun progiba temeljne ploče kalupa. Ukoliko je poznat dopušteni progib temeljne ploče kalupa, tada je moguće proračunati visinu temeljne ploče prema izrazu [5]:

$$h_{tp} = \left(\frac{5}{32} \cdot \frac{F_d \cdot b_{tp}^3}{l_{tp} \cdot f_{tp} \cdot E_r} \right)^{1/3} \quad (4.31)$$

gdje su: h_{tp} - debljina (visina) temeljne ploče (m), F_d - sila držanja kalupa (N), b_{tp} – razmak između odstoynih letvi kalupa (m), l_{tp} - duljina temeljne ploče (m), f_{tp} - dopušteni progib temeljne ploče (m).

U zadnjem koraku mehaničkog proračuna, ujedno i zadnjem koraku faze dimenzioniranja elemenata kalupa, potrebno je proračunati silu otvaranja kalupa i površinski pritisak na sljubnicu. Silu otvaranja kalupa moguće je odrediti s pomoću izraza [5]:

$$F_o = \mu \cdot p_R \cdot A_o \quad (4.32)$$

4.3. Završne aktivnosti konstruiranja kalupa

U okviru posljednje faze konstruiranja kalupa potrebno je izvršiti analizu pouzdanosti injekcijskog prešanja, konačni izbor elemenata linije za injekcijsko prešanje, razraditi strategiju podešavanja sustava za injekcijsko prešanje plastomera, te izraditi svu potrebnu dokumentaciju kalupa. [5]

5. PRORAČUN NEPOTPUNE CIJENE KOŠTANJA OTPRESKA

5.1. Struktura cijene proizvoda

Struktura cijene proizvoda razmatra se obično kroz tri skupine troškova, čemu se pridodaje zarada.

Tablica 5.1 Struktura cijene koštanja otpreska [6]

TROŠAK	TROŠAK UDIO U PRODAJNOJ %
Trošak materijala	30
Trošak rada	30
Opći – režijski troškovi	30
Troškovi proizvodnje	90
Profit	10
Ukupna cijena koštanja	100

S obzirom na to da postoji niz parametara koji imaju utjecaj na konačnu cijenu proizvoda, ne postoji opći način kako bi se odredila potpuna cijena koštanja. Shodno tome će se odrediti nepotpuna, tehnička cijena koštanja otpreska u koju nisu obuhvaćeni opći, tj. režijski troškovi.

5.2. Struktura nepotpune cijene koštanja otpreska [6]

U strukturu nepotpune cijene koštanja otpreska ulaze:

- a) Troškovi kalupa
 - troškovi konstruiranja kalupa
 - troškovi izradbe kalupa
 - troškovi kontrole i probnog rada.
- b) Troškovi eksploatacije
 - troškovi materijala
 - troškovi mehanizacije (ubrizgavalice)
 - troškovi radne snage
 - troškovi održavanja.

Zbog velikog broja čimbenika koji imaju utjecaj na ukupnu cijenu koštanja kao i njihovu međusobnu povezanost, nužno je ostvariti kvalitetnu suradnju između tehnoloških timova i konstrukcijskih timova radi optimalne proizvodnje.

Nepotpuna cijena koštanja otpreska C_O , računa se prema izrazu: [6]

$$C_O = C_{KONO} + C_{KSO} + C_{KO} + C_{mO} + C_{sO} + C_{rO} \quad (5.1)$$

gdje su: C_{KONO} – trošak konstruiranja kalupa za jedan otpresak, C_{KO} – trošak izradbe kalupa za jedan otpresak, C_{KSO} – trošak prototipnih serija za jedan otpresak, C_{mO} – trošak materijala za jedan otpresak, C_{sO} – trošak stroja (ubrizgavalice) za jedan otpresak, C_{rO} – trošak radne snage za jedan otpresak.

5.2.1. Troškovi konstruiranja kalupa

5.2.1.1. Razvoj otpreska [6]

Dobro izvedena konstrukcija otpreska je uvjet za izvedbu dobre konstrukcije kalupa. Loše konstruiran otpresak uzrokuje povećanje troškova kod konstruiranja i izradbe kalupa. Treba izbjegavati konstrukcije otpresaka koje uvjetuju dodatnu obradbu nakon završetka ciklusa injekcijskog prešanja. I ova početna faza konstruiranja ima utjecaj na krajnju cijenu koštanja otpreska. Radi zahtjeva za provjerom tehničnosti, koji se postavljaju pred konstruktore, a prije svega zahtjevi za krajnjom kvalitetom otpreska, funkcionalnosti i proizvodljivosti, moguće je utjecati na ukupnu cijenu koštanja i to smanjenjem moguće količine škarta, ukidanjem potrebe za naknadnom obradbom otpreska.

5.2.1.2. Postupak konstruiranja kalupa [6]

Zbog specifičnosti svojstava polimera i postupka preradbe nužno je u fazi razvoja otpreska koja prethodi konstruiranju kalupa, uključiti analizu i izbor postupka preradbe i razmatranje aktivnosti koje se odnose na konstrukciju kalupa – provjeru tehničnosti otpreska. Na taj je način u sprezi aktivnosti razvoja otpreska i konstruiranja kalupa moguće izraditi optimalni kalup za konstruirani otpresak, koji je optimalno izradljiv postupkom injekcijskog prešanja.

5.2.1.3. Određivanje troškova konstruiranja kalup [6]

Radi vrlo velikih razlika u zahtjevima, odnosno kompliciranosti samog otpreska, nije moguće jednoznačno unaprijed ocijeniti troškove konstruiranja kalupa. Pri određivanju cijene konstruiranja kalupa, prema jednadžbi 5.2, u praktičnoj uporabi je iskustvena metoda, odnosno usporedba s već konstruiranim kalupima, te procjena potrebnog vremena i troškova konstruiranja.

Cijena troška konstruiranja kalupa za jedan otpresak C_{KONO} računa se prema izrazu:

$$C_{KONO} = \frac{T_{KON}}{n_{UK}} \quad (5.2)$$

gdje su: T_{KON} – ukupni troškovi konstruiranja, n_{UK} – ukupna količina otpresaka izrađenih u kalupu

5.2.2. Troškovi izradbe kalupa

5.2.2.1. Cijena kalupa [6]

Cijena kalupa je trošak koji kod malih serija značajno sudjeluje u cijeni koštanja otpreska. Na cijenu kalupa utječe kvaliteta izradbe i montaža, količina i zahtijevana kvaliteta otpresaka. U cijenu kalupa su uračunati sljedeći troškovi: projektiranje, konstruiranje, izradba, kontrola prilikom izradbe i upuštanje u rad. Na cijenu kalupa značajno utječu tolerancije oblika, skošenja stijenki kalupne šupljine, kvaliteta površina stijenki kalupne šupljine i sl. Automatizacija rada kalupa povisuje cijenu koštanja.

Udio troška kalupa u cijeni koštanja otpreska T_{KO} računa se prema izrazu:

$$T_{KO} = \frac{C_K}{n_{UK}} + \frac{T_{OK}}{n_d} \quad (5.3)$$

gdje su: C_K – cijena koštanja, T_{OK} – troškovi održavanja kalupa, n_d – broj ispravnih otpresaka.

Sve troškove koji ulaze u cijenu kalupa treba pažljivo analizirati i procijeniti. Za svaku poziciju potrebno je izraditi analizu koja sadržava sljedeće podatke: broj komada pozicije, cijenu materijala po komadu, vrijeme obradbe i to za obradbu odvajanjem čestica, hladno istiskivanje, toplinsku obradbu, posebne postupke izradbe kalupa, završnu obradbu, te kontrolu, montažu i pokusni rad.

5.2.2.2. *Postupci određivanja cijene kalupa [6]*

Kalupi za injekcijsko prešanje radi raznoликih zahtjeva koji se na njih postavljaju, predstavljaju sklopove najviše preciznosti, koji se u pravilu izrađuju samo u jednom ili najviše u nekoliko komada. Oni se izrađuju složenim, i prije svega postupcima izradbe koji zahtijevaju mnogo vremena i visoke izdatke. Stoga oni predstavljaju odlučujući faktor pri proračunu dijelova kalupa. Kod malih serija troškovi kalupa utječu čak vrlo često kao odlučujući kriterij za uvođenje nekog proizvoda.

Cilj postupka procjene troškova kalupa je:

- povišenje sigurnosti i točnosti određivanja cijene kalupa
- smanjenje utrošenog vremena za određivanje cijene kalupa
- izradba proračuna i do sada još neizrađivanih kalupa, s kojima nema nikakvih iskustava
- izradba sigurnih proračuna i bez dugogodišnjeg iskustva

5.2.3. *Troškovi kontrole i probnog rada kalupa [6]*

Nakon izradbe kalupa, slijedi kontrola i dorada kalupa. Ukoliko se radi o većim proizvodnim sustavima, prije velikoserijske proizvodnje, slijedi probna serija pri kojoj se kontrolira kvaliteta alata za velikoserijsku proizvodnju.

5.2.3.1. *Kontrola i dorada kalupa*

Troškove kontrole čine troškovi nekoliko prototipnih serija s malim brojem izrađenih otpresaka, na kojima se vrši kontrola izmjera i kvalitete otpresaka. Između serija kalup odlazi na dodatne ispravke i korekcije kako bi se postigla tražena kvaliteta. Potreba za korekcijama kalupa može se pojaviti zbog loše konstrukcije kalupa, neodgovarajuće dimenzioniranog uljevnog sustava i ostalih dijelova ili loše izradbe. Broj prototipnih serija potrebno je smanjiti na minimum uz zadovoljenje postavljenih uvjeta.

U troškove kontrole ulaze:

- troškovi materijala,
- troškovi ubrizgavalice,
- troškovi rada,
- troškovi kontrolnih mjerenja,
- troškovi dorade kalupa.

Pravilnim planiranjem, izvršavanjem prototipne proizvodnje u terminima kada nije potrebno prekidati proizvodnju, kada ubrizgavalice nisu u uporabi, odnosno uporabom trenutno

slobodnih radnika, moguće je troškove ubrizgavalice svesti na nužni minimum. Troškovi materijala, rada ubrizgavalice i radne snage računaju se na jednaki način kao i troškovi proizvodnje. Troškovi dorade ovise o kompliciranosti otpreska, odnosno kalupa, traženoj kvaliteti, te početnoj kvaliteti izradbe i konstrukcije kalupa. Osim provjere kvalitete kalupa i otpresaka, pri prototipnim serijama obavlja se i provjera ostalih parametara proizvodnje, poput kontrole trajanja ciklusa, naknadni pritisak, vrijeme hlađenja otpreska i slično. Zbog velikog broja utjecajnih faktora, ukupne troškove prototipnih serija vrlo je teško jednoznačno odrediti. U praksi se troškovi kontrole određuju iskustvenom metodom, odnosno usporedbom s prijašnjim troškovima, a najviše ovise o kompliciranosti i traženoj kvaliteti otpreska. Uobičajeno je da troškovi kontrole i prototipnih serija ulaze u trošak izradbe kalupa.

Ukupni trošak kontrole i prototipnih serija C_{KS0} računa se prema izrazu (5.4):

$$C_{KS0} = \frac{\sum_{i=1}^n C_{sKSi}}{n_{uk}} \quad (5.4)$$

gdje je: C_{KS_i} – trošak pojedine prototipne serije.

Troškovi pojedinih prototipnih serija C_{KS_i} računa se prema izrazu (5.5):

$$C_{KS_i} = C_{mKSi} + C_{sKSi} + C_{rKSi} + C_{kKSi} + C_{dKSi} \quad (5.5)$$

gdje su: C_{mKSi} – trošak materijala prototipne serija, C_{sKSi} – trošak ubrizgavalice za prototipnu seriju, C_{rKSi} – trošak radne snage za prototipnu seriju, C_{kKSi} – trošak kontrole za prototipnu seriju, C_{dKSi} – trošak dorade kalupa za prototipnu seriju.

Ukoliko troškovi kontrole ulaze kao režijski trošak vrijedi $C_{kKSi} = 0$.

5.2.3.2. Probni rad kalupa

Ukoliko se radi o velikoserijskoj proizvodnji polimernih otpresaka, prije same proizvodnje izrađuje se probna (nulta) serija. Veličina probne serije ovisi o konačnoj količini otpresaka koji će biti proizvedeni te zahtijevanoj kvaliteti otpresaka. Različitim statističkim metodama potvrđuje se kvaliteta izrađenih otpresaka i tehnološka kvaliteta, odnosno proizvodnost postupka. Sa stanovišta troškova, elementi proračuna su identični proračunima proizvodnje s dodatnim troškom kontrole. Izrađeni otpresci ne predstavljaju otpad nego proizvode namijenjene tržištu i kao takvi ne predstavljaju nepovratni trošak. Stoga, u većini slučajeva, troškovi probnog rada predstavljaju trošak proizvodnje otpreska, a ne izradbe kalupa.

Za proračun troškova probne proizvodnje za jedan otpresak (izraz 5.6) koristi se ista metoda kao za određivanje troškova proizvodnje uvećana za troškove kontrole:

$$C_{PS0} = \frac{C_{ps}}{n_{ps}} \quad (5.6)$$

gdje su: C_{PS0} – proizvodna cijena po otpresku za probnu seriju, C_{ps} – ukupni trošak probne serije, n_{ps} – veličina probne serije.

Trošak probne serije C_{PSi} računa se prema izrazu (5.7):

$$C_{PSi} = C_{mPS} + C_{sPS} + C_{rPS} + C_{kPS} + C_{dPS} \quad (5.7)$$

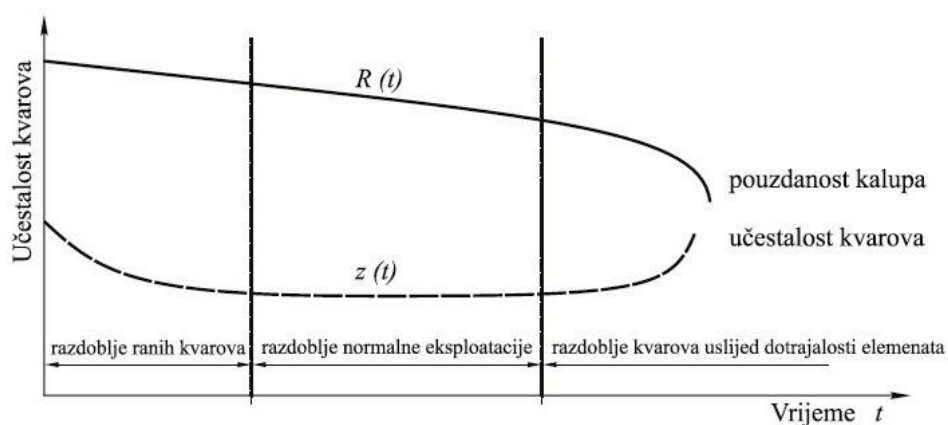
gdje su: C_{mPS} – trošak materijala probne serije, C_{sPS} – trošak ubrizgavalice za probnu seriju, C_{rPS} – trošak radne snage za probnu seriju, C_{kPS} – trošak kontrole za probnu seriju, C_{dPS} – trošak dorade kalupa za jednu seriju. Ukoliko troškovi kontrole ulaze kao režijski trošak vrijedi $C_{kPS} = 0$, čime se dobiva izraz jednak izrazu za trošak proizvodnje.

5.2.4. Trošak eksploatacije kalupa [6]

5.2.4.1. Održavanje kalupa

Troškovi održavanja kalupa često čine značajnu ulogu u cijeni proizvodnje. Ovisno o kompliciranosti otpreska, traženoj finalnoj kvaliteti otpreska te vrsti materijala koji se koristi, mogu značajno utjecati na cijenu proizvodnje. Troškovi održavanja također ovise o

istrošenosti kalupa i ukupnom broju proizvedenih otpresaka u kalupu. Razdoblje ranih kvarova pokriva i troškove prototipnih serija odnosno probne serije. Pravilnom organizacijom održavanja, pravovremenim i kvalitetnim provođenjem preventivnog održavanja, u odnosu na korektivno, odnosno održavanje po pojavi havarije, moguće je ukupne troškove održavanja značajno smanjiti. Pravilno definirane kvalitete kalupa u odnosu na planiranu ukupnu količinu izrađenih otpresaka, odnosno ne zalaženje u period kvarova uslijed istrošenosti elemenata i njihova pravovremena zamjena također pozitivno utječu na konačnu cijenu proizvoda. Uobičajena pojava je naručivanje rezervnih dijelova kalupa uz sam kalup. Time se povisuje cijena koštanja izrade kalupa, no smanjuju troškovi održavanja. Slika 5.1 predstavlja ovisnost pouzdanosti i učestalosti kvarova i vremena proizvodnje. Sukladno tome, razdoblje 1 odnosno razdoblje ranih kvarova, pokriva i troškove prototipnih serija odnosno probne serije.



Slika 5.1 Ovisnost pouzdanosti i učestalosti kvarova kalupa o vremenu [6]

Pravilnom organizacijom održavanja, pravovremenim i kvalitetnim provođenjem preventivnog održavanja, u odnosu na korektivno, odnosno održavanje po pojavi havarije, moguće je ukupne troškove održavanja značajno smanjiti. Pravilno definirane kvalitete kalupa u odnosu na planiranu ukupnu količinu izrađenih otpresaka, odnosno ne zalaženje u period kvarova uslijed dotrajalosti elemenata (slika 5.1, razdoblje 3) i njihova pravovremena zamjena također pozitivno utječu na konačnu cijenu proizvoda. Uobičajena pojava je naručivanje rezervnih djelova kalupa uz sam kalup. Time se povisuje cijena koštanja izradbe kalupa, no smanjuju troškovi održavanja.

Troškovi održavanja kalupa za pojedinu seriju C_{Oser0} računa se prema izrazu (5.8):

$$C_{Oser0} = \frac{C_{Oser}}{n_{ser}} \quad (5.8)$$

gdje su: C_{Oser} – troškovi održavanja za seriju, n_{ser} – veličina serije

5.2.4.2. Cijena materijala za jedan otpresak

Najveći udio u cijeni otpreska u pravilu čini cijena polimernog materijala koji se prerađuje. Pri proračunu, stvarni trošak materijala biti će funkcija mase otpreska, stvarnog utroška materijala, škarta, te količine otpadnog materijala koji se može ponovo upotrijebiti (regenerata). Specifični troškovi materijala otpreska (troškovi po jednom otpresku) ne mijenjaju se s obzirom na broj kalupnih šupljina. Međutim, masa uljevnog sustava bitno utječe na iskoristivost materijala, a time i na cijenu proizvoda. Pritom veliku ulogu ima

uporaba regeneriranog materijala, tj. vraćanje regranuliranog materijala pomiješanog s izvornim materijalom u proizvodni proces.

Proračun cijene materijala izračunava se prema izrazu (5.9):

$$C_{mO} = C_m + (A + B + C) + C_d \quad (5.9)$$

gdje su: C_m – ukupna jedinična cijena materijala, A – stvarni jedinični utrošak materijala, B – stvarni jedinični gubici materijala zbog škarta, C – jedinični gubici materijala zbog upuštanja u rad i izmjene boje, C_d – jedinična cijena materijala ili etikete (ukoliko su sastavni dijelovi proizvoda).

Ukupna jedinična cijena materijala C_m s udjelom boje i osnovnim udjelom regenerata računa se prema izrazu (5.10):

$$C_m = \frac{C_{om} + U_b \cdot C_b + U_r \cdot C_r}{1 + U_b + U_r} \quad (5.10)$$

gdje su: C_{om} – jedinična cijena osnovnog materijala (Kn/kg), U_b – udio boje, C_b – jedinična cijena boje (Kn/kg), U_r – udio regenerata, C_r – jedinična cijena regenerata (Kn/kg).

5.2.4.3. Trošak rada ubrizgavalice

Proračun troškova ubrizgavalice potrebno je poznavati sljedeće podatke:

- učin ubrizgavalice,
- cijena radnog sata ubrizgavalice,
- broj radnih dana u godini,
- broj radnih sati dnevno,
- pripremno završno vrijeme,
- organizacijske gubitke,
- pouzdanost postupka.

Trošak ubrizgavalice sveden na jedan otpresak C_{so} računa se prema izrazu (5.11):

$$C_{so} = \left(\frac{t_c}{n_g \cdot \mu_p} + \frac{t_{pz} + G_{or}}{n_{ser}} \right) \cdot C_{ru} \quad (5.11)$$

gdje su: μ_p – pouzdanost postupka, t_{pz} – pripremno završno vrijeme, G_{or} – organizacijski gubici, n_{ser} – veličina serije, C_{ru} – cijena radnog sata ubrizgavalice.

5.2.4.4. Trošak rada radnika

Trošak rada radnika svedeno na jedan otpresak računa se prema izrazu (5.12):

$$C_{ro} = \left(\frac{t_c}{n_{kš} \cdot \mu_p} \right) \cdot C_{rs} \cdot n_r \quad (5.12)$$

gdje su: $n_{kš}$ – broj kalupnih šupljina, C_{rs} – cijena radnog sata radnika, n_r – broj radnika.

5.2.4.5. Proizvodna cijena jednog otpreska proizvodne serije

Proizvodna cijena jednog otpreska načinjenog tijekom proizvodne serije predstavlja zbroj troškova materijala, rada ubrizgavalice i rada radnika (izraz 5.13):

$$C_{o,ser} = C_{mo} + C_{so} + C_{ro} \quad (5.13)$$

5.2.4.6. Prosječna cijena otpreska probne (nulte) i proizvodne serije

Prosječna cijena otpreska probne (nulte) i proizvodne serije računa se prema izrazu:

$$C_{oPR} = \frac{\frac{n_{serPS} + n_{ser}}{C_{oPS}} + \frac{n_{ser}}{C_{o,ser}}}{\frac{n_{serPS}}{C_{oPS}} + \frac{n_{ser}}{C_{o,ser}}} \quad (5.14)$$

-gdje je n_{serPS} - veličina probne serije

5.2.5. Nepotpuna cijena koštanja po otpresku

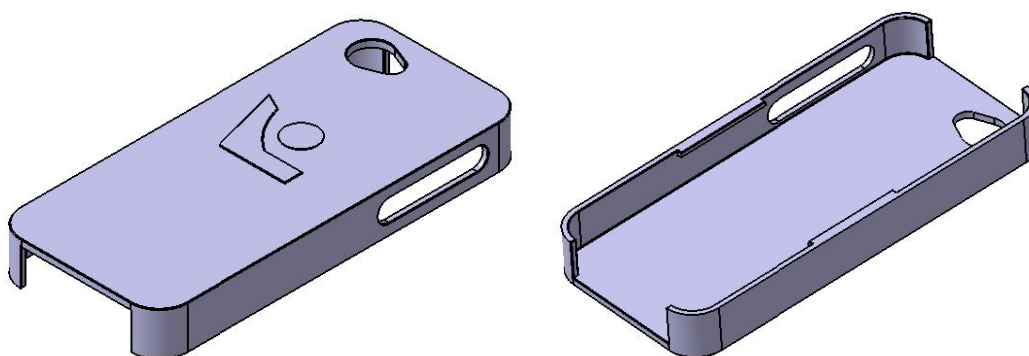
Nepotpuna cijena koštanja otpreska računa se prema izrazu:

$$C_o = \frac{T_{KON} + T_{UK} + T_{KS}}{n_{uk}} + C_{o,serOD} + C_{oPR} \quad (5.15)$$

6. METODIČKO KONSTRUIRANJE KALUPA ZA INJEKCIJSKO PREŠANJE PLASTOMERNE MASKE ZA MOBITEL

6.1. Uvod

Nakon što je u 4. poglavlju teorijski objašnjen tijek metodičkog konstruiranja kalupa za injekcijsko prešanje polimera, u ovom poglavlju to metodičko konstruiranje primijenit će se na primjeru zadanog otpreska – maske za mobitel.



Slika 6.1 3D model maske

Pri izvedbi maske potrebna je kvalitetna izradba, a osobitu pozornost potrebno je posvetiti točnom dimenzioniranju radi uklapanja sa ostalim elementima radi uležištenja. Za izradbu predviđen je postupak injekcijskog prešanja, a materijal od kojeg će se izrađivati je PP. Odabran je materijal trgovačke oznake PP 571 P, tvrtke Sabic.

Tablica 6.1 Svojstva PP 571 P [12]

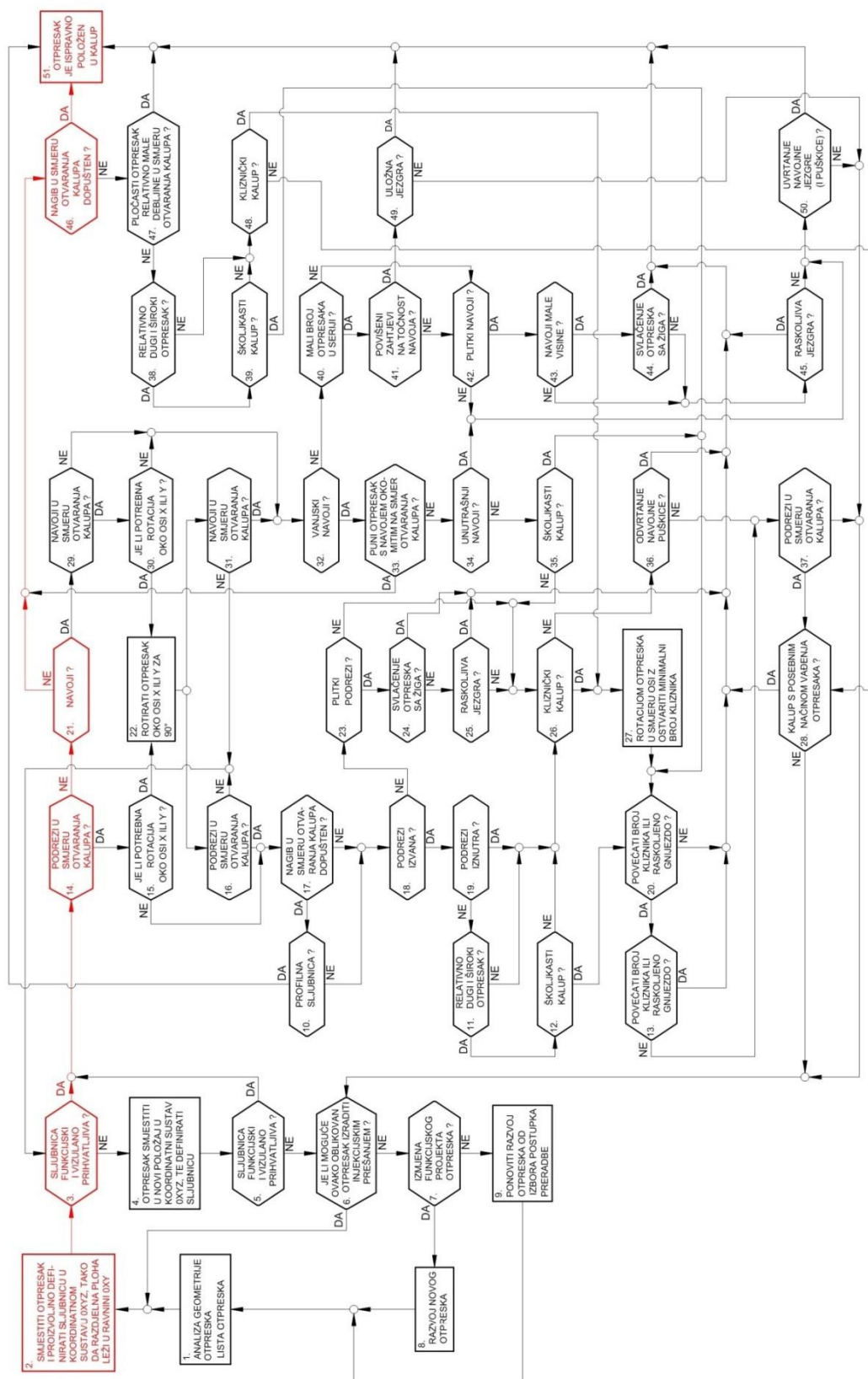
Svojstvo	Oznaka	Jedinica	Vrijednost
Gustoća	ρ	kg/m ³	905
Pritisak ubrizgavanja	p_u	N/mm ²	Do 100
Temperature taljevine	ϑ_T	°C	220 – 260
Temperatura stijenke kalupne šupljine	ϑ_K	°C	20 - 45
Temperatura postojanosti oblika	ϑ_{PO}	°C	100
Toplinska rastezljivost	α	10 ⁻⁵ m/mK	18
Toplinska difuznost	a	10 ⁻⁸ m ² /s	6,7...5,9
Specifični toplinski kapacitet	c_p	10 ³ J /kgK	2,0
Toplinska provodnost	λ	W/mK	0,10...0,20
Skupljanje	S_L	%	1.5

Tablica 6.2 Izmjere otpreska

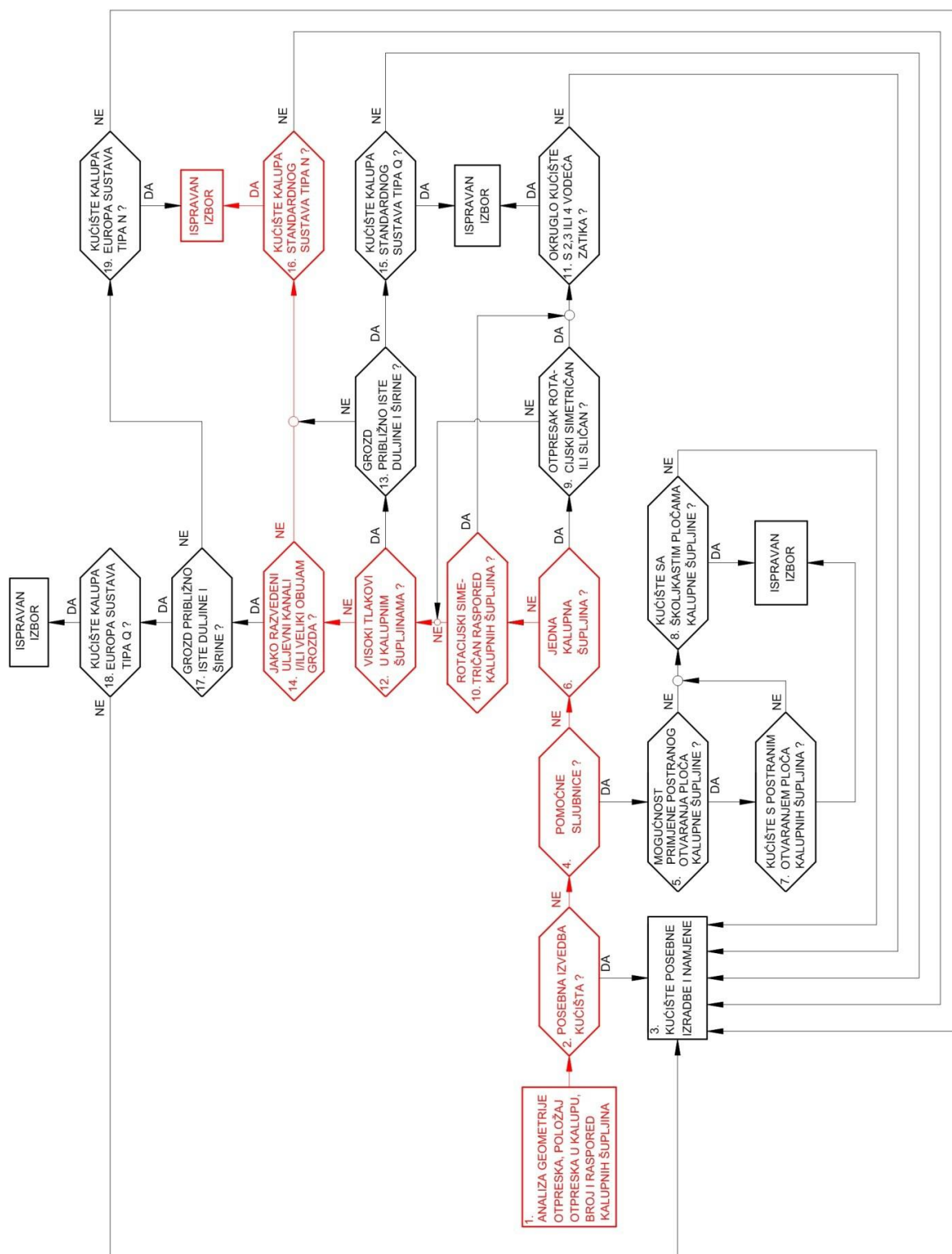
IZMJERE OTPRESKA	
Debljina otpreska	$s_o = 1,5\text{ mm}$
Duljina otpreska	$l_o = 103,2\text{ mm}$
Širina otpreska	$b_o = 46,6\text{ mm}$
Visina	$h_o = 12\text{ mm}$
Obujam	$V_o = 1,246 \cdot 10^{-5}\text{ m}^3$
Masa otpreska	$m_o = 0,012\text{ kg}$
Ploština otpreska	$S_o = 0,014\text{ m}^2$

6.2. Konceptijsko oblikovanje kalupa

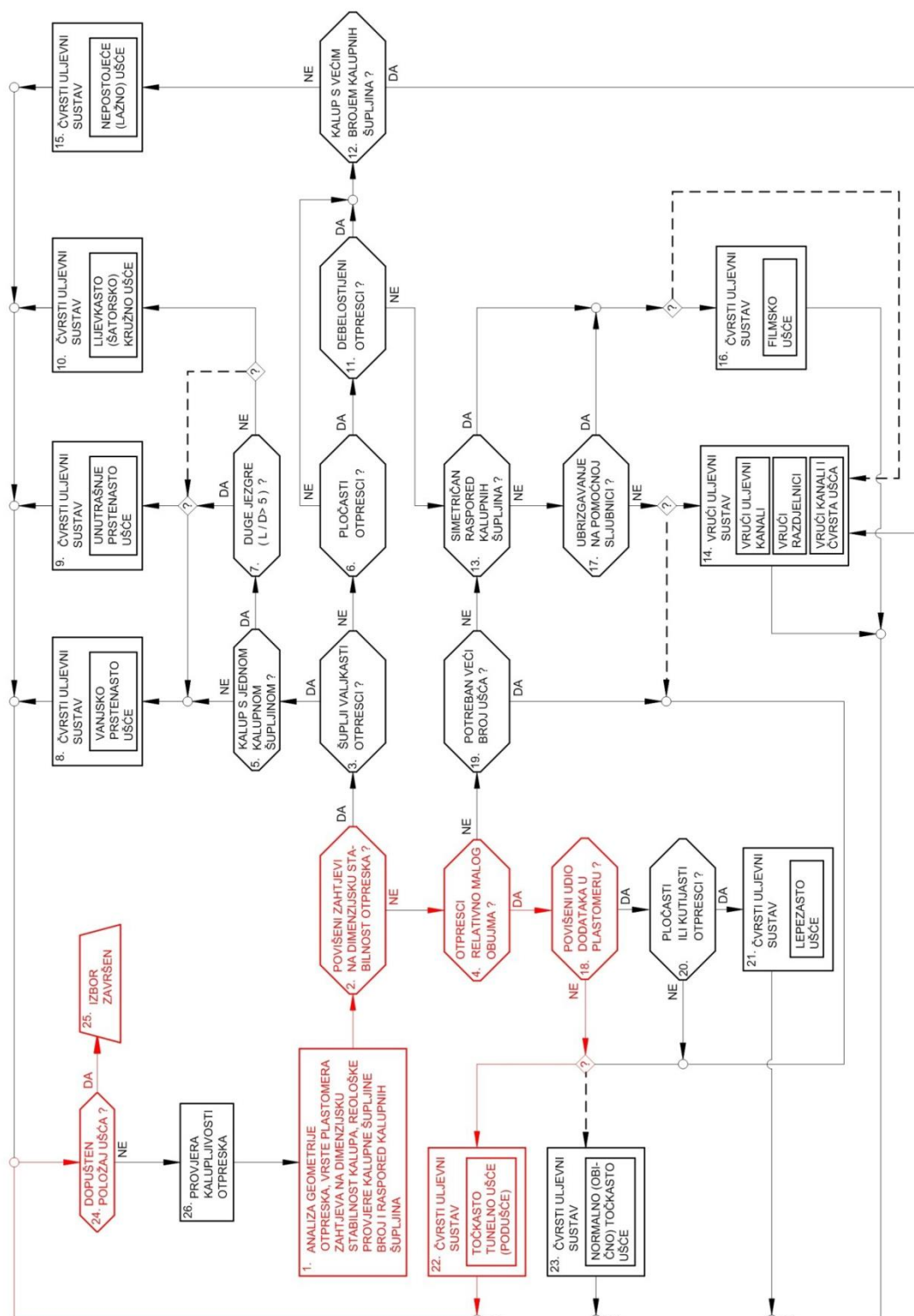
Prva faza procesa konstruiranja kalupa započinje s razradom koncepta, gdje se donose važne odluke kako bi se dobilo kvalitetno funkcioniranje kalupa tijekom cijele njegove upotrebe.



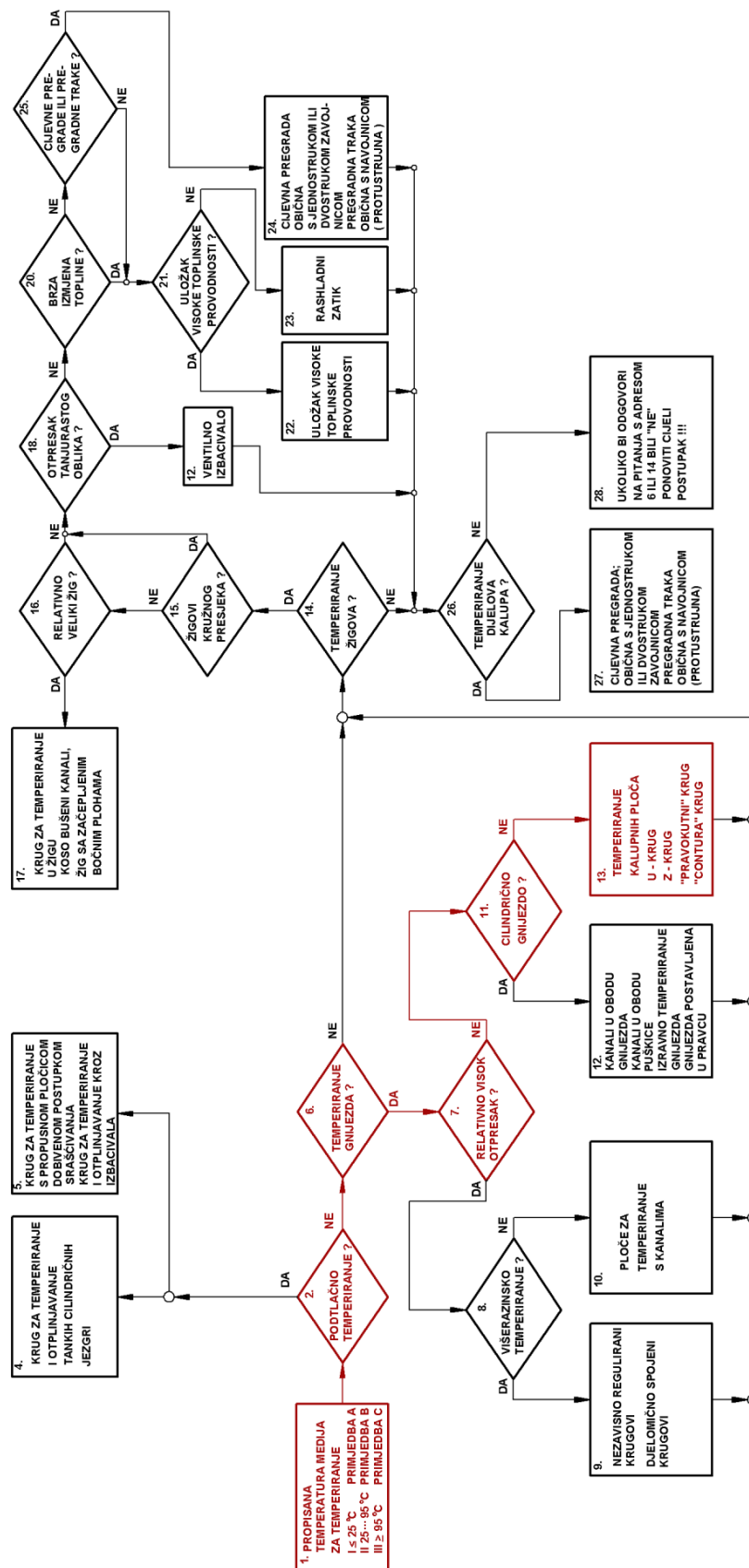
Slika 6.2 Dijagram odlučivanja za načelno određivanje položaja otpreska u kalupu



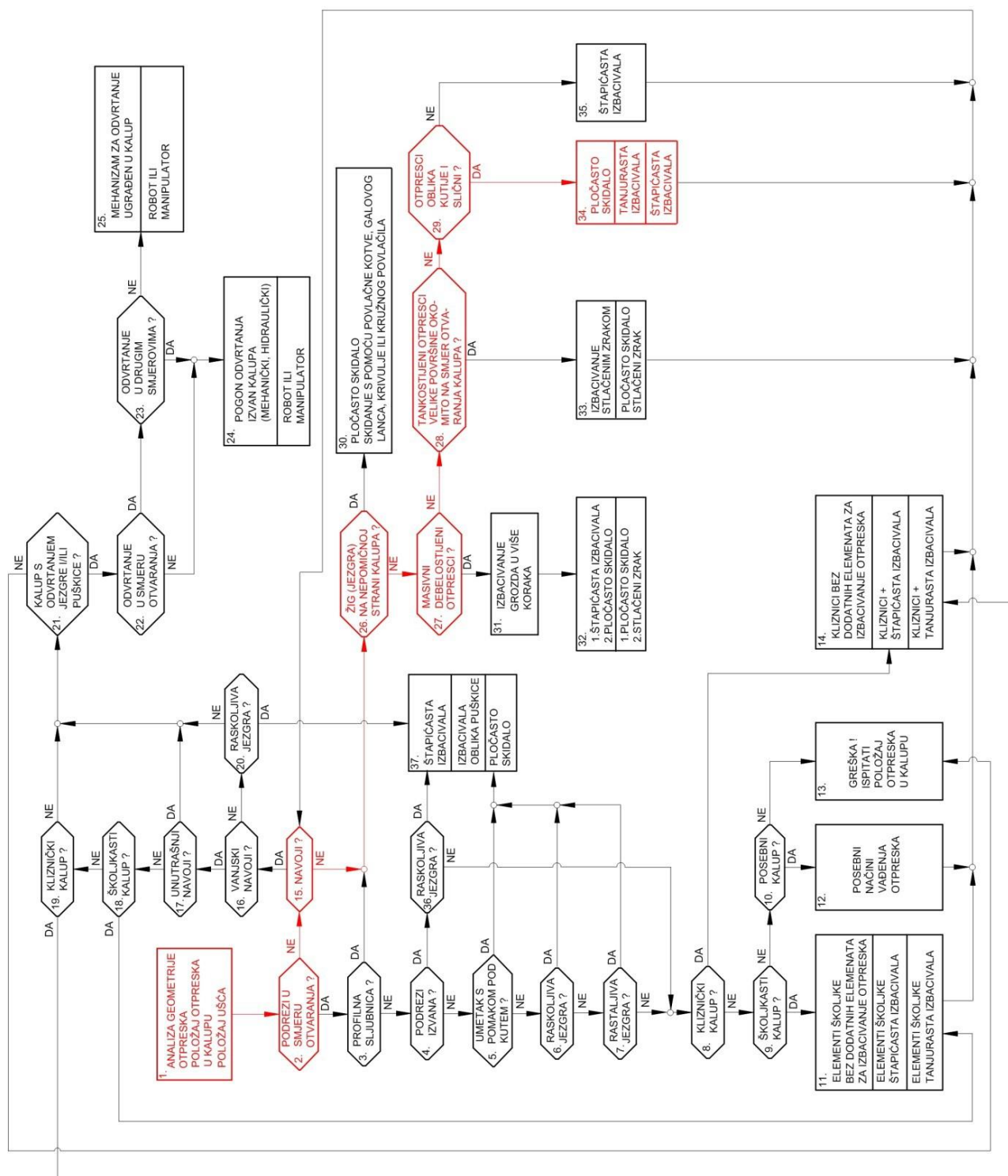
Slika 6.3 Dijagram odlučivanja za načelno određivanje kućišta kalupa



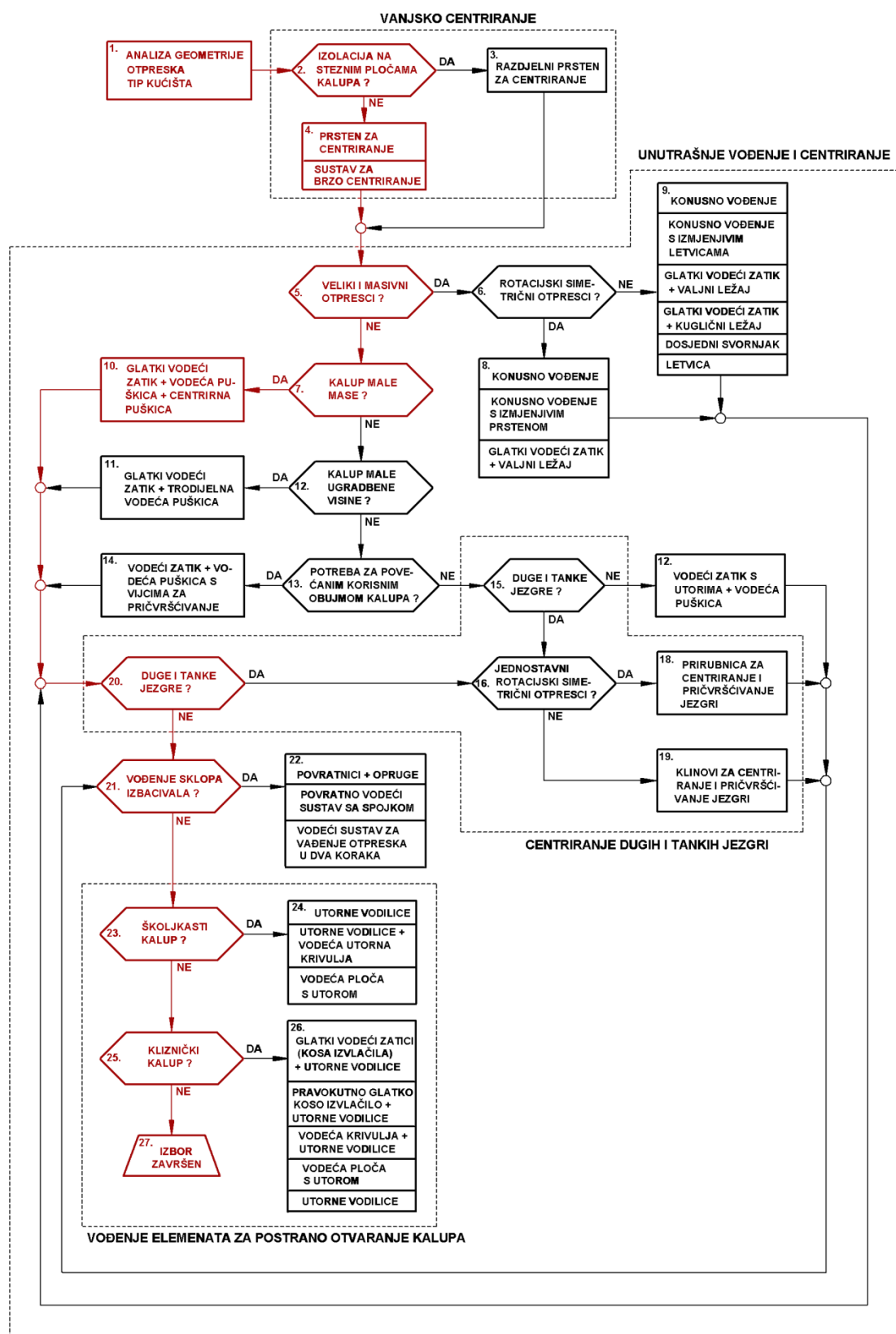
Slika 6.4 Dijagram odlučivanja za načelno određivanje uljevnog sustava i ušća



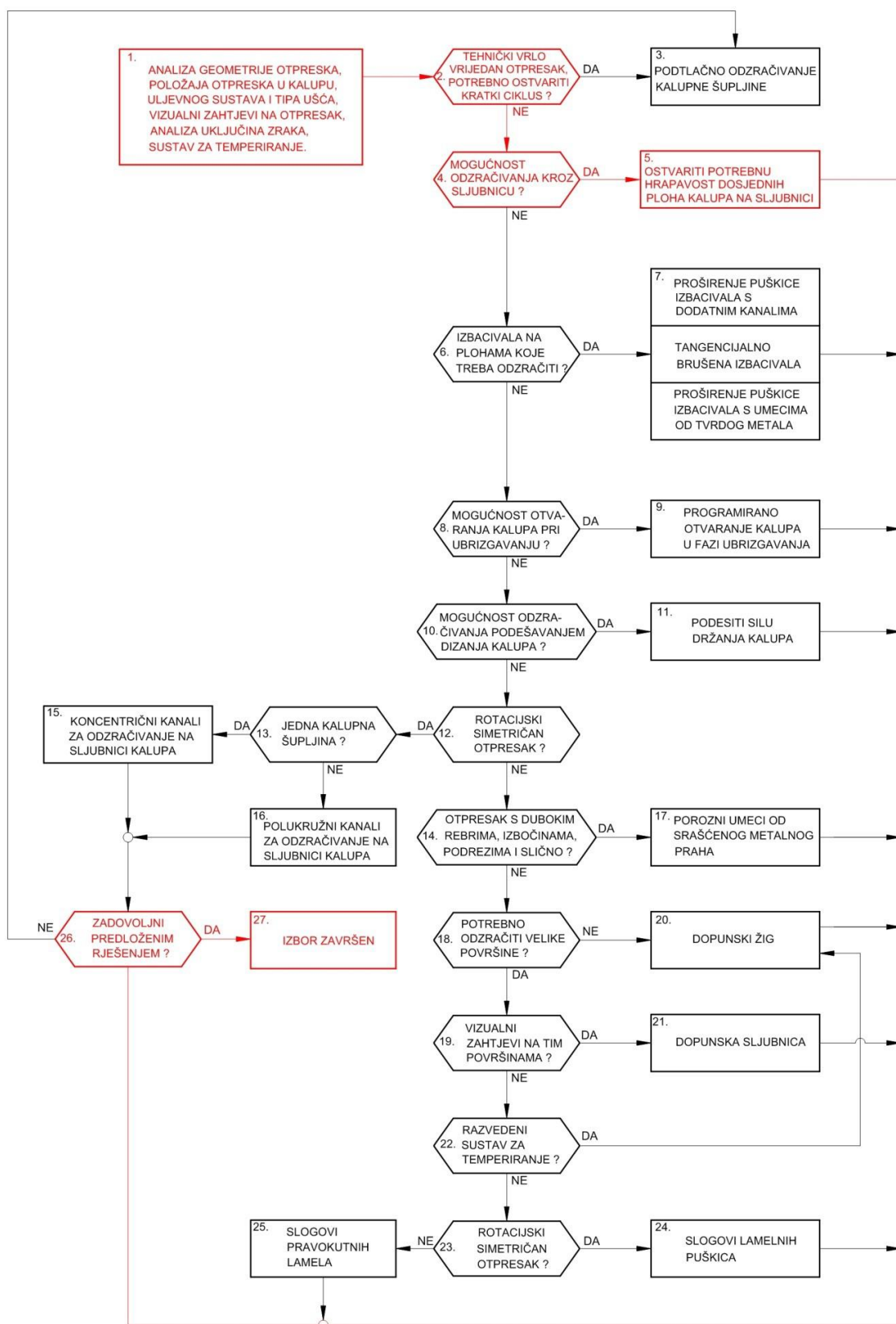
Slika 6.5 Dijagram odlučivanja za načelno određivanje sustava za temperiranje



Slika 6.6 Dijagram odlučivanja za načelno određivanje sustava za vađenje otpreska



Slika 6.7 Dijagram odlučivanja za načelno određivanje sustava za vođenje i centriranje



Slika 6.8Dijagram odlučivanja za načelno određivanje sustava za odzračivanje kalup

7. PRORAČUN KALUPA

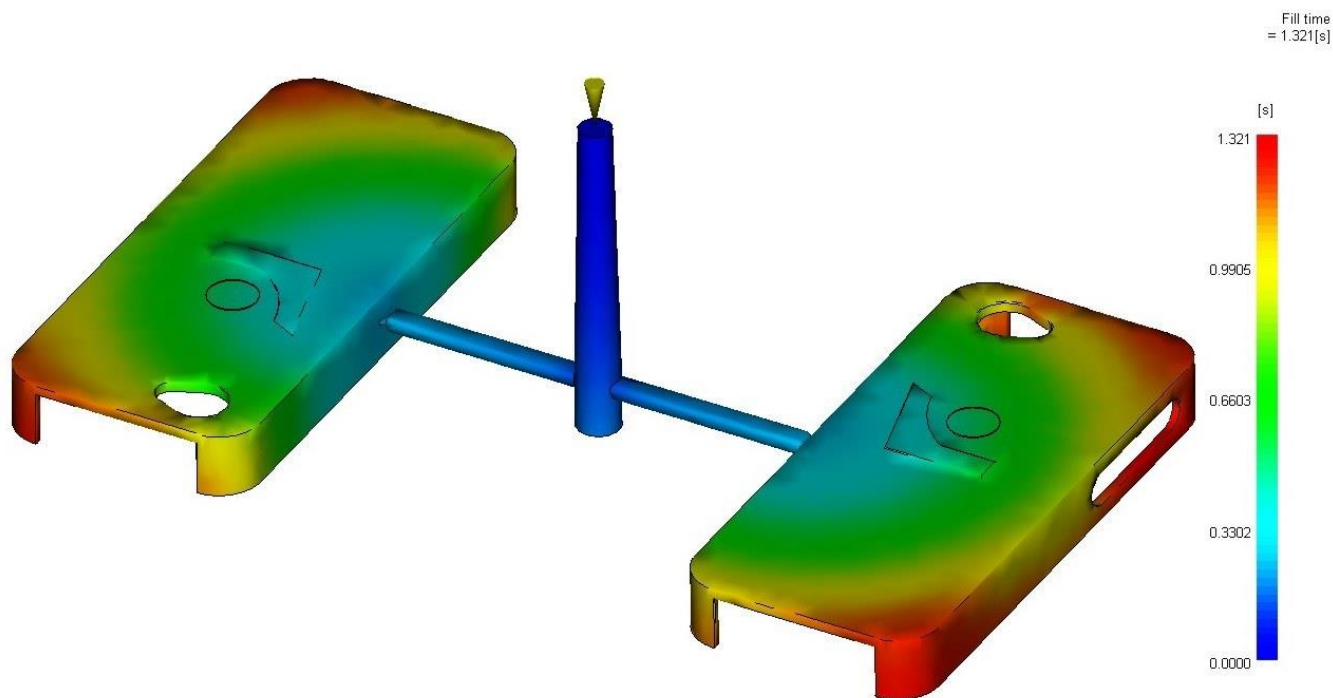
Prije samog proračuna, ispisat će se podaci o odabranoj ubrizgavalici. Odabrana je ubrizgavalica. Odabrana je ubrizgavalica tvrtke KrassMaffei KM 80 CX s jedinicom za ubrizgavanje SP380. Podaci su prikazani u tablici 7.1

Tablica 7.1 Karakteristike ubrizgavalice [13]

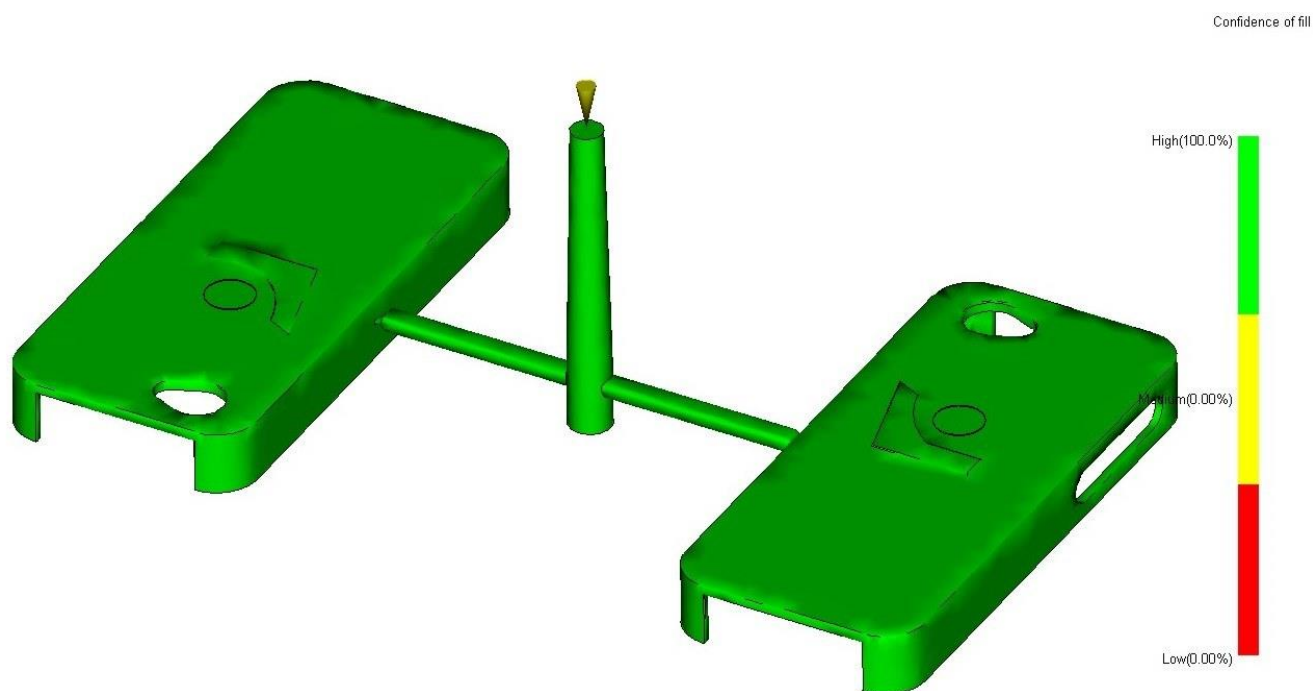
Promjer pužnog vijka	45 mm
Kapacitet plastificiranja	27,6 g/s
Brzina ubrizgavanja	159 cm ³ /s
Maksimalni volumen ubrizgavanja	254 cm ³
Maksimalni pritisak ubrizgavanja	1469 bar
Sila držanja kalupa	800 kN
Minimalna visina kalupa	250 mm
Maksimalna udaljenost između steznih ploča	750 mm
Maksimalna visina otvaranja	500 mm
Maksimalna sila vađenja kalupa	55,3 kN

7.1. Provjera tehničnosti otpreska i simulacija procesa

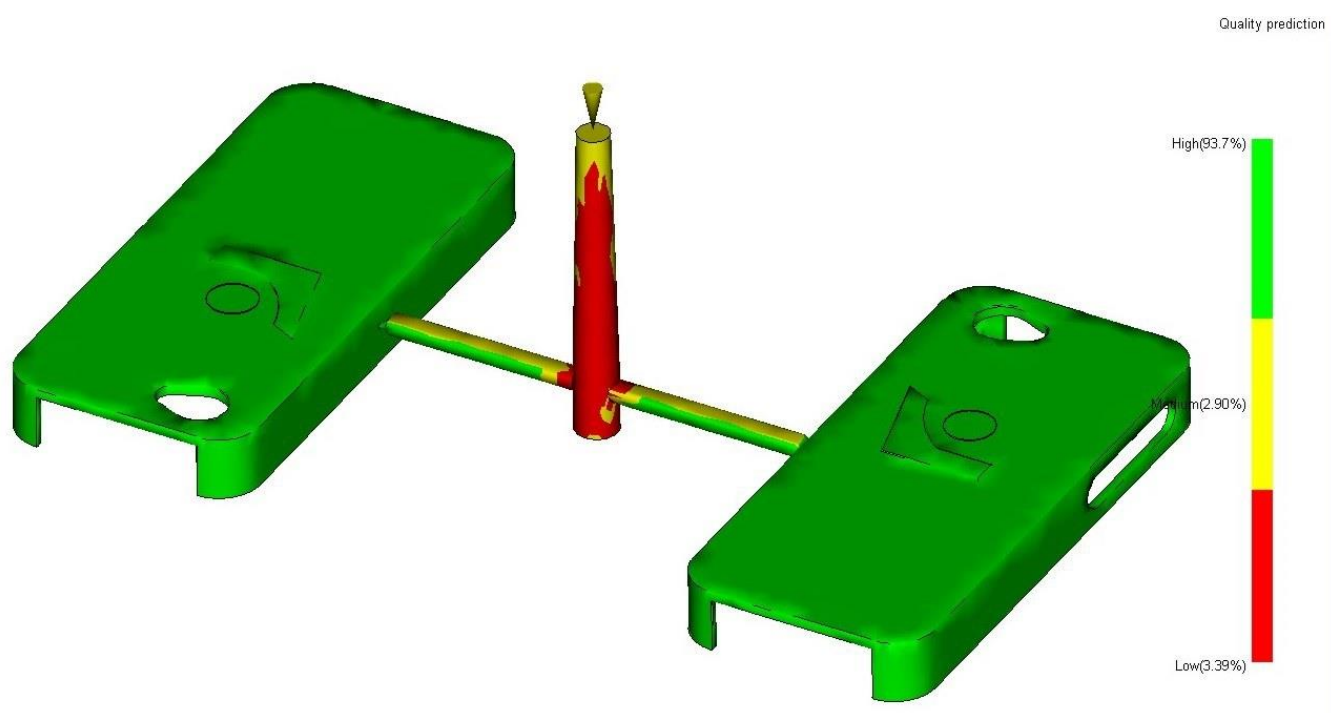
U ovome poglavlju provesti će se simulacija zadanog otpreska.



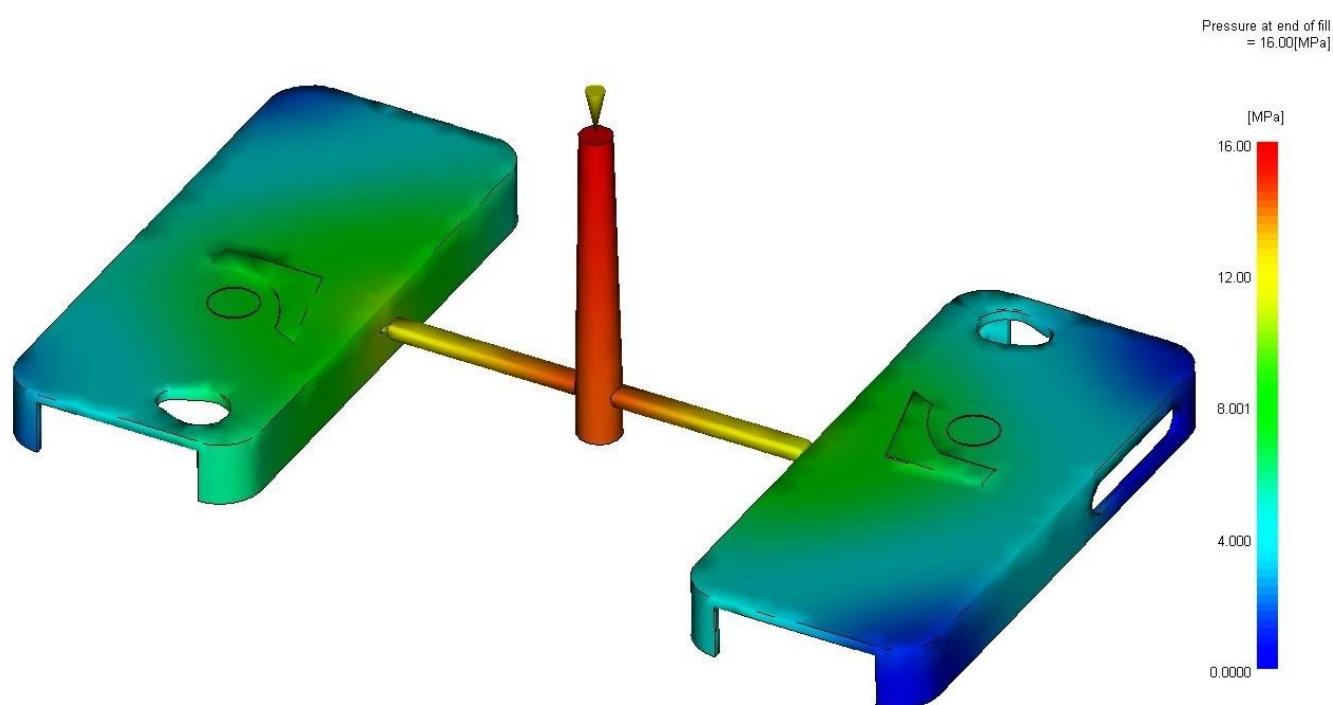
Slika 7.1 Vrijeme punjenja kalupne šupljine



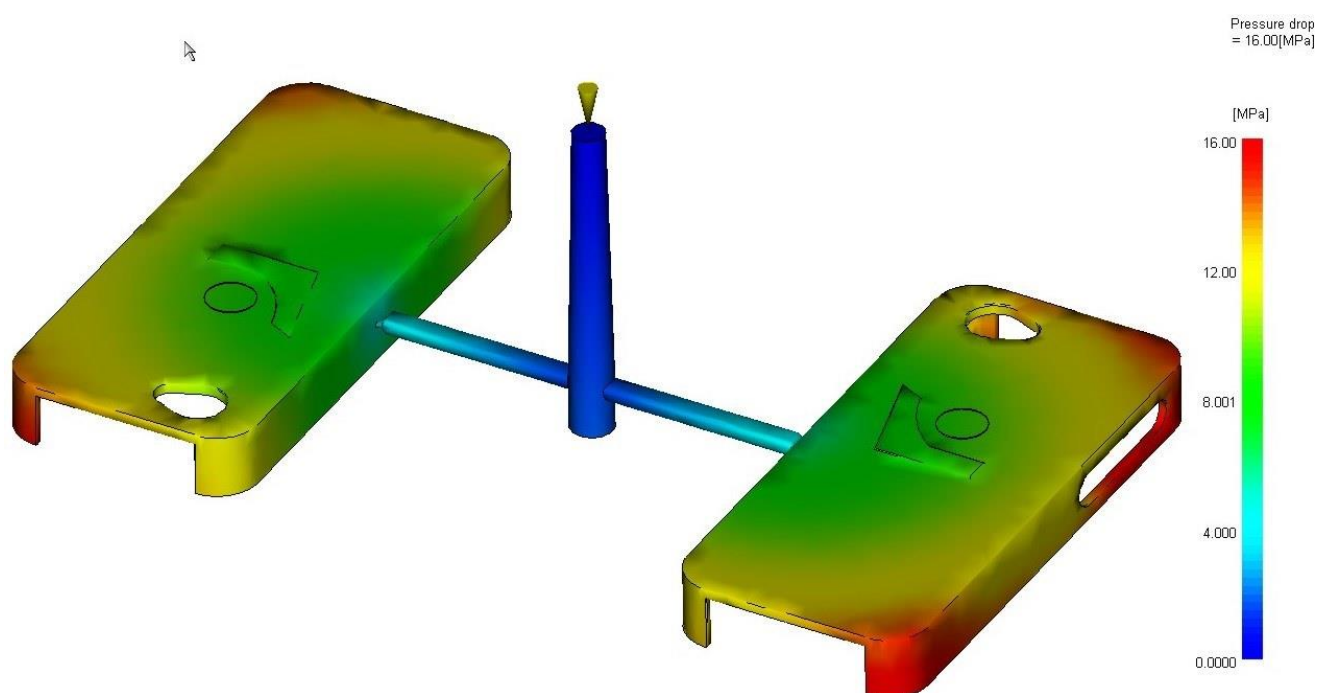
Slika 7.2 Kvalieta ispunjenja kalupne šupljine



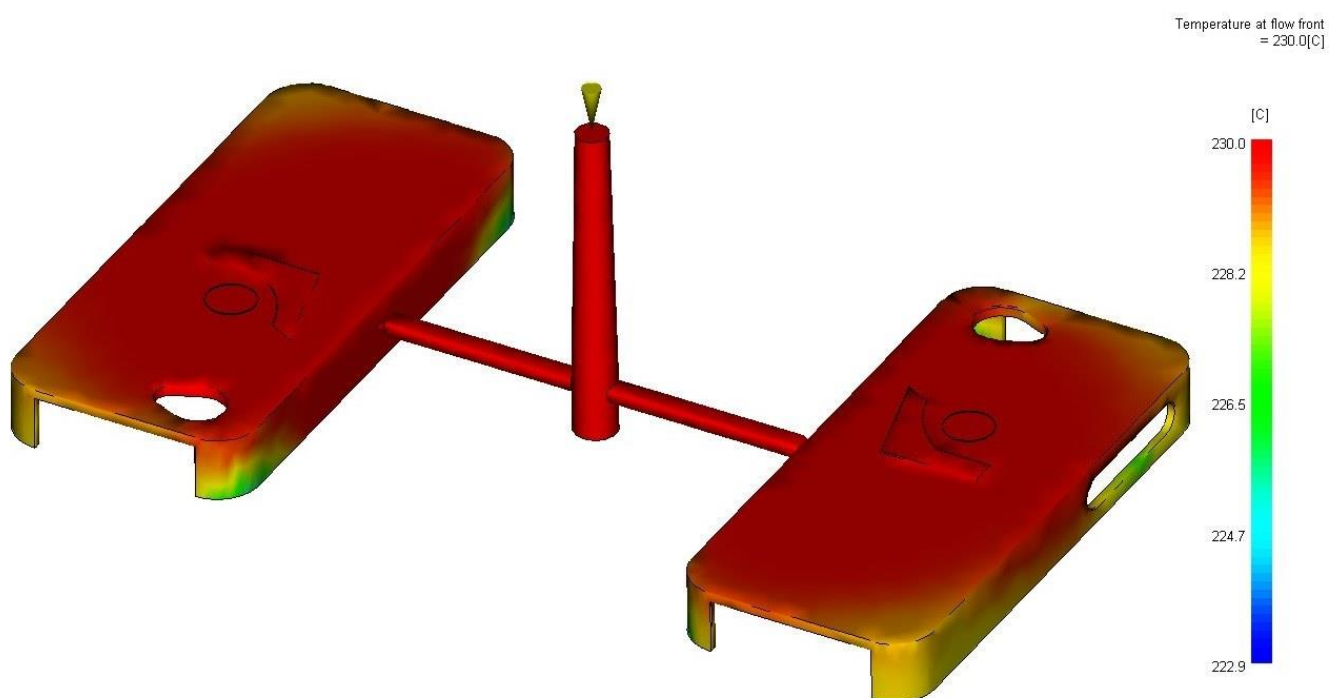
Slika 7.3 Predviđena kvaliteta otpreska



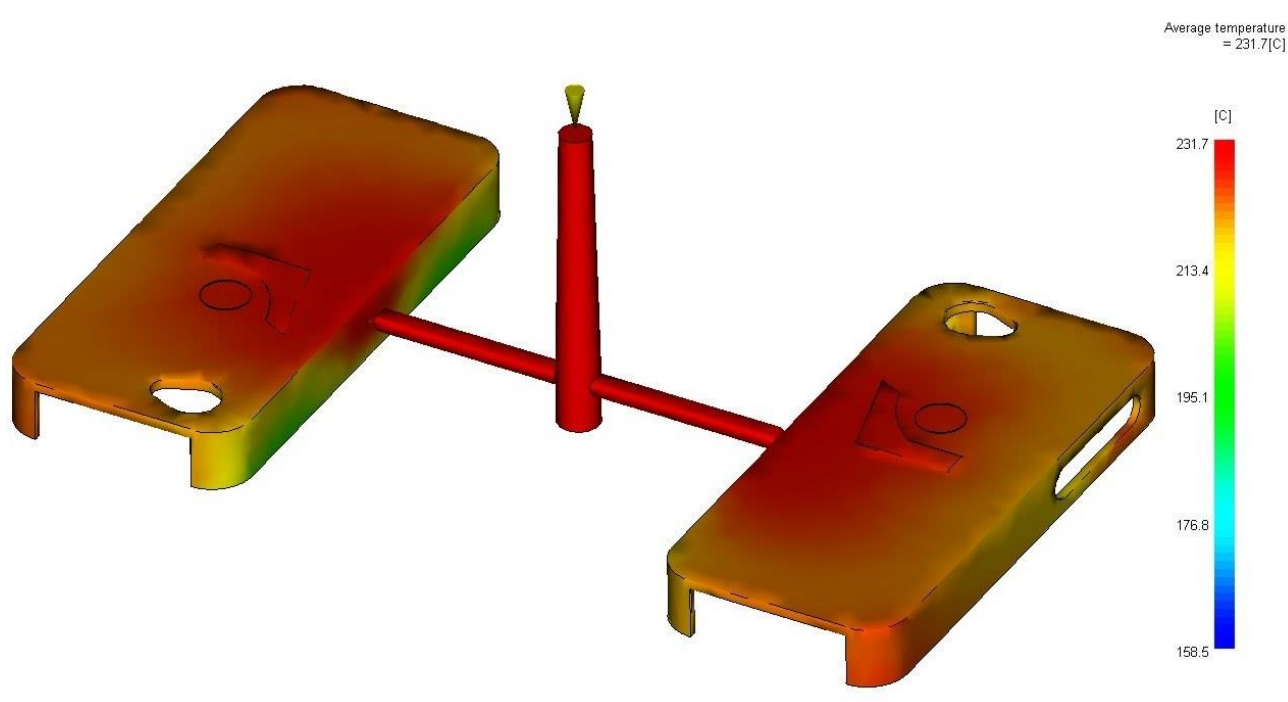
Slika 7.4 Tlak u kalupnoj šupljini



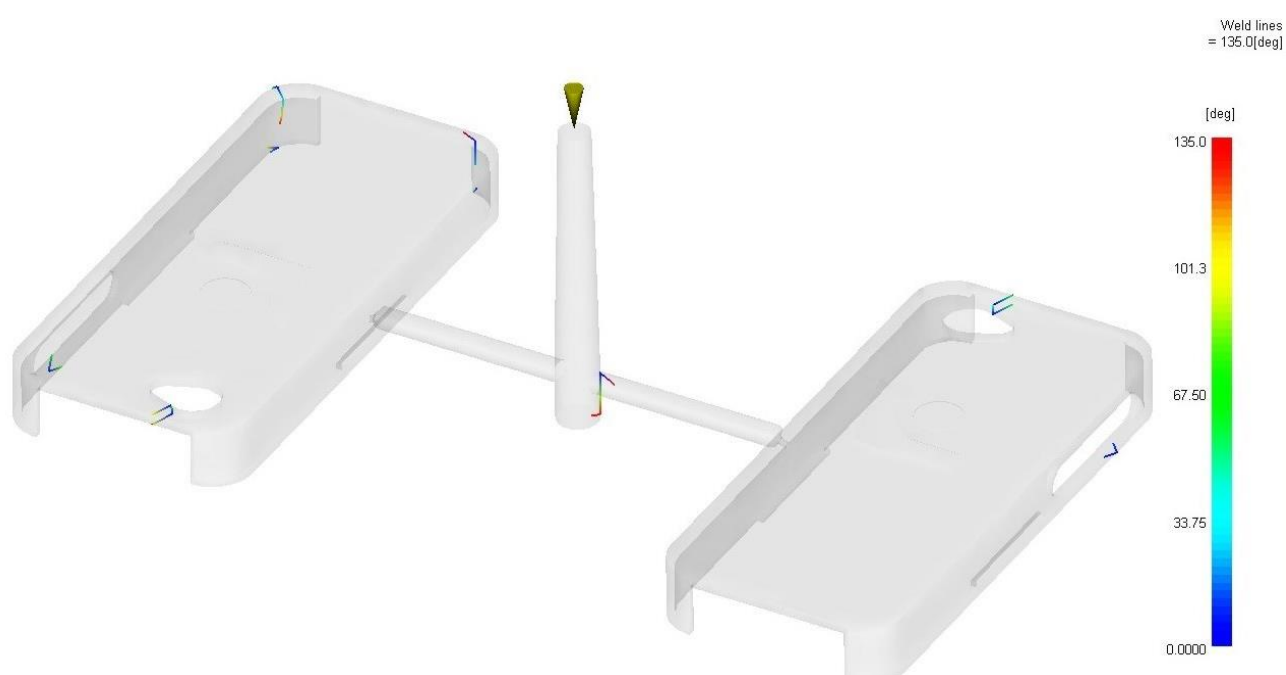
Slika 7.5 Razdioba pada tlaka u uljevnom sustavu i kalupnim šupljinama



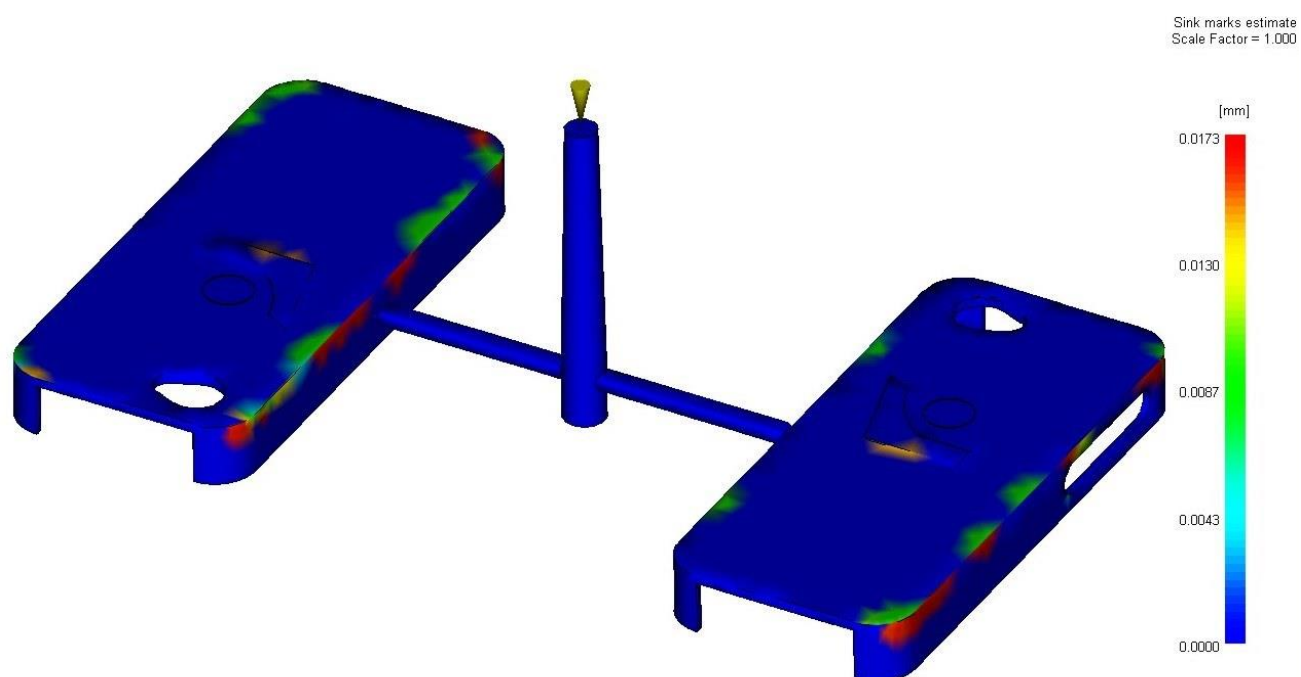
Slika 7.6 Razdioba temperature čela taljevine



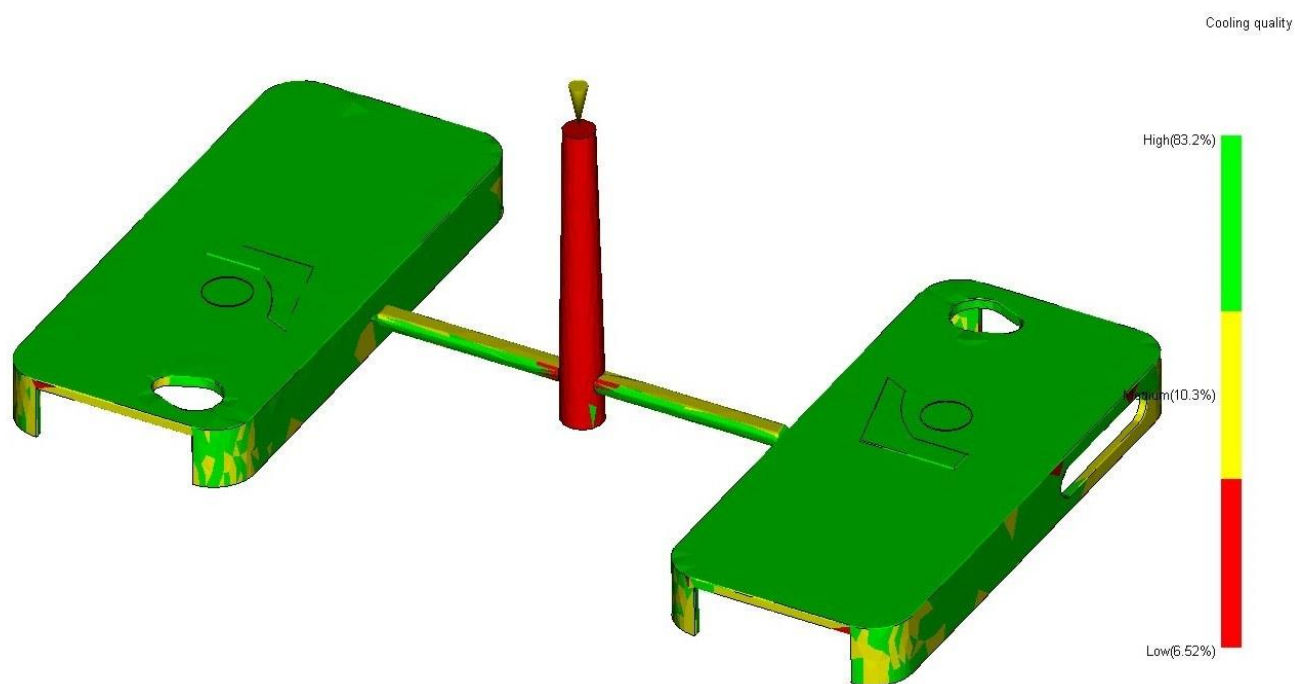
Slika 7.7 Prosječna temperatura



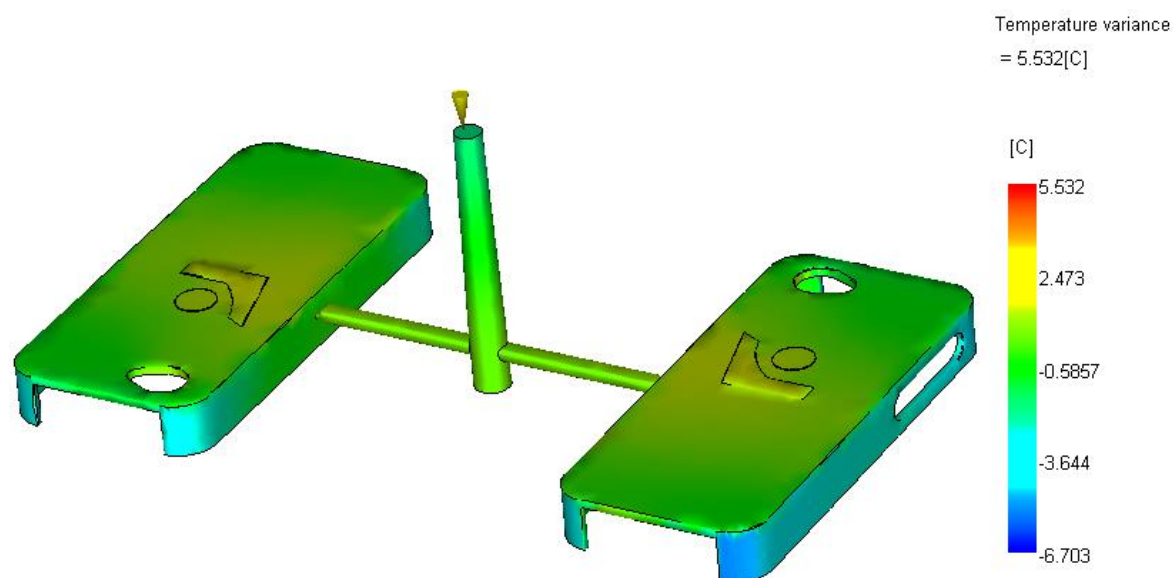
Slika 7.8 Linije spajanja – uključine zraka



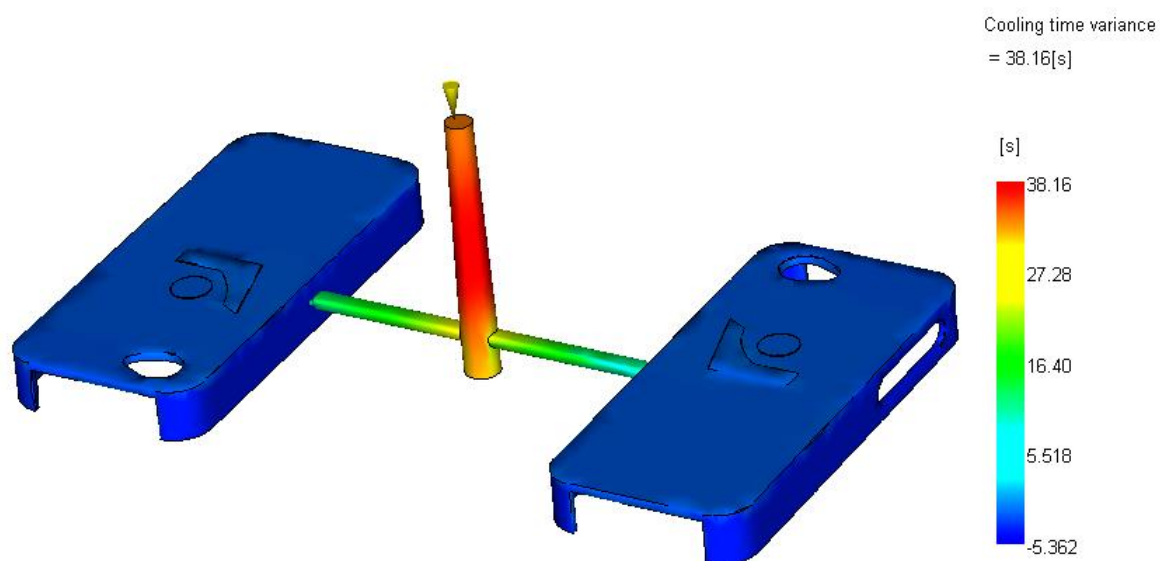
Slika 7.9 Procjena pojava udubina



Slika 7.10 Kvaliteta hlađenja



Slika 7.11 Temperaturna varijanca



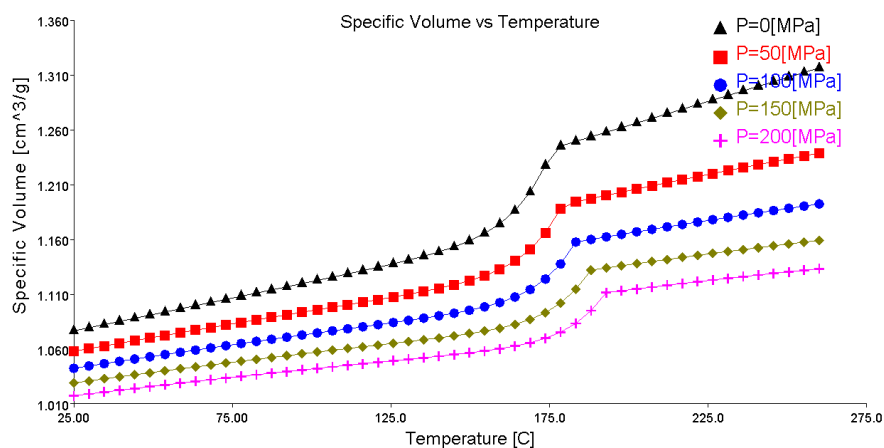
Slika 7.12 Varijanca vremena hlađenja

7.1.1. Reološki proračuna kalupa

Sastoji se od nekoliko temeljnih aktivnosti. Određivanja tlaka u kalupnoj šupljini, te padovima tlaka u uljevnom sustavu, kako bi se osiguralo ispravno popunjavanje kalupne šupljine.

7.1.1.1. Određivanje potrebnog tlaka u kalupnoj šupljini

Pri određivanju potrebnog tlaka u kalupnoj šupljini moguće je rabiti dijagram $p-v-T$ za prerađivani polimerni materijal. U ovom slučaju prerađuje se SABIC PP 571 P.



Slika 7.13 $P - v - t$ dijagram za SABIC PP 571 P

Iz dijagrama se može isčitati da je potreban tlak ubrizgavanja oko 16 MPa. Ista ta vrijednost je dobivena korištenjem u programskom paketu Simulation Moldflow Adviser Ultimate Free Student.

7.1.2. Proračun sile držanja kalupa

Sila držanja kalupa je sila kojom ubrizgavalica drži kalup tijekom procesa injekcijskog prešanja zbog djelovanja tlaka unutar kalupne šupljine.

Tablica 7.2 Podatci za reološki proračun kalupa

Tlak u kalupnoj šupljini	Δp_{uk}	16 MPa
Površina otpreska u smjeru otvaranja	A	4826 mm ²
Koeficijent sigurnosti	k	1,1

$$F_d = \Delta p_{uk} \cdot A \cdot k = 16 \cdot 10^6 \cdot 4826 \cdot 10^{-6} \cdot 1,1 = 84937,60 \text{ N} = 84.9376 \text{ kN} \quad (7.1)$$

Izabrana ubrizgavalica ima deklariranu silu držanja kalupa 800 kN, stoga zaključujemo kako izabrana ubrizgavalica zadovoljava uvjet.

7.1.3. Proračun vremena hlađenja otpreska

Podaci prikazani u tablici 7.3 su potrebni za proračun vremena hlađenja otpreska.

Tablica 7.3 Podatci za proračun vremena hlađenja

Karakteristična izmjera otpreska	s_o	1.5 mm
koeficijent oblika (ploča)	K_o	1,21
koeficijent unutrašnjosti	K_{u1}	4/π
koeficijent unutrašnjosti	K_{u2}	8/π ²
temperatura taljevine	T_T	250 °C
Temperatura stijenke kalupne šupljine	T_K	45 °C
temperatura postojanosti oblika	T_{PO}	100 °C
koeficijent jednadžbe pravca za PP	a_1	-0,0106 · 10 ⁻⁸ m ² s ⁻¹ K ⁻¹
koeficijent jednadžbe pravca za PP	b_1	9,8494 · 10 ⁻⁸ m ² ·s ⁻¹

Koeficijente oblika i unutrašnjosti odabiru se iz tablice 4.3, a za neke oblike se treba izračunati iz izraza [11]:

$$K_o = 1 + a_{10}^2 + a_{20}^2 = 1 + \left(\frac{s_o}{h_o}\right)^2 + \left(\frac{b_o}{l_o}\right)^2 \quad (7.2)$$

$$K_o = 1 + a_{10}^2 + a_{20}^2 = 1 + \left(\frac{1,5}{12}\right)^2 + \left(\frac{46,6}{103,2}\right)^2 = 1,21$$

Određivanje vremena hlađenja otpreska moguće je prema dva kriterija. Prvi kriterij je postizanje odgovarajuće temperature postojanosti oblika otpreska u samom središtu otpreska, a drugi kriterij je postizanje prosječne temperature postojanosti oblika otpreska. Vrijeme hlađenja otpreska do propisane prosječne temperature postojanosti oblika moguće je odrediti pomoću jednadžbe [11]:

$$t_h = \frac{s_o^2}{K_o \cdot a_{ef} \cdot \pi^2} \cdot \ln \left[K_{U2} \cdot \frac{T_T - T_K}{T_{PO} - T_K} \right] \quad (7.3)$$

$$a_{ef} = a_1 \cdot T_k + b_1 \quad (7.4)$$

$$a_{ef} = -0,0106 \cdot 10^{-8} \cdot 318 + 9,8494 \cdot 10^{-8} = 6,4786 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$$

Pomoću toga dobivamo vrijeme hlađenja:

$$t_h = \frac{0.0015^2}{1,21 \cdot 6,4786 \cdot 10^{-8} \cdot \pi^2} \cdot \ln \left[\frac{8}{\pi^2} \cdot \frac{523 - 318}{373 - 318} \right] = 3,2 \text{ s}$$

Vrijeme hlađenja otpreska do postizanja prosječne temperature postojanosti oblika u središtu otpreska iznosi [11]:

$$t_h = \frac{s_o^2}{K_o \cdot a_{ef} \cdot \pi^2} \cdot \ln \left[K_{U1} \cdot \frac{T_T - T_K}{T_{PO} - T_K} \right] \quad (7.5)$$

$$t_h = \frac{0.0015^2}{1,21 \cdot 6,4786 \cdot 10^{-8} \cdot \pi^2} \cdot \ln \left[\frac{4}{\pi} \cdot \frac{523 - 318}{373 - 318} \right] = 4,5 \text{ s}$$

Iz prijašnjih poglavlja o procesima (slika 4.12) koji se odvijaju tokom injekcijskog prešanjamožemo zaključiti da se hlađenje otpreska poklapa s vremenima operacija kao što su ubrizgavanje, djelovanje naknadnog tlaka, plastificiranje, vraćanje mlaznice u početni položaj. Dodatno vrijeme hlađenja otpreska koristi se samo u slučaju kada je zbroj vremena svih navedenih operacija kraći od proračunatog vremena hlađenja otpreska.

Potrebna vremena za taj dio proračuna iznose:

-vrijeme ubrizgavanja $t_u = 1,321$ s

-vrijeme vraćanja mlaznice u početni položaj $t_r = 0,5$ s

-dobivena na osnovu poznatih obujma i gustoće materijala masa grozda iznosi $m_g = 22,6$ g

Vrijeme plastificiranja se određuje na temelju izraza [6]:

$$t_{ps} = \frac{m_o}{q_p} = \frac{11.3}{27.6} = 0,82s \quad (7.6)$$

Određivanje vremena ciklusa injekcijskog prešanja sastoji se od vremena hlađenja otpreska i pomoćnih vremena [6]:

$$t_c = t_h + t_p = 3,2 + 7 = 10,2s \quad (7.7)$$

- t_p se sastoji od vremena otvaranja kalupa $t_o = 2s$, vremena zatvaranja kalupa $t_{zs} = 2s$ i vremena vađenja otpreska iz kalupa $t_{iz} = 3s$

7.1.4. Proračun temperatura ciklusa injekcijskog prešanja

Ovaj proračun se radi kako bi se vidjele promjene temperatura stijenke kalupne šupljine tijekom injekcijskog prešanja. Za proračun temperatura ciklusa injekcijskog prešanja potrebno je prvo izračunati temperaturu podešavanja kalupne šupljine [5]:

$$T_p = \frac{t_K(b_K + b_p) - (1 - A) \cdot T_T \cdot b_p}{b_k + b_p \cdot A} \quad (7.8)$$

Najprije je potrebno odrediti bezdimenzijsku značajku A preko sljedećeg izvoda [6]:

$$A = \frac{t_h}{2t_c} = \frac{3,2}{2 \cdot 10,4} = 0,1568 \quad (7.9)$$

Podaci o toplinskoj prodornosti materijala kalupa (DIN X38CrMoV5-1) su poznati i iznose[5]:

$$b_k = 10238 \text{ W s}^{1/2} \text{ m}^{-2} \text{ K}^{-1}$$

Toplinska prodornost materijala:

$$b_p = 521 \text{ W s}^{1/2} \text{ m}^{-2} \text{ K}^{-1}$$

Sada se može izračunati temperatura podešavanja kalupne šupljine:

$$T_P = \frac{318 \cdot (10238 + 602) - (1 - 0,1568) \cdot 523 \cdot 521}{10238 + 521 \cdot 0,1568} = 311 \text{ K}$$

Dodirna temperatura se određuje prema izrazu[5]:

$$T_D = \frac{b_k \cdot t_p + b_p \cdot T_T}{b_k + b_p} \quad (7.10)$$

$$T_D = \frac{1028 \cdot 311 + 521 \cdot 523}{10238 + 521} = 321 \text{ K}$$

Temperatura otvaranja kalupa određuje se na temelju izraza [5]:

$$T_{OK} = 2T_K - T_D = 2 \cdot 318 - 321 = 315 \text{ K} \quad (7.11)$$

7.1.5. Temperatura i toplinska svojstva medija za temperiranje

Kod određivanja svojstva medija za temperiranje treba se pretpostaviti temperatura medija za temperiranje i odrediti njegova fizička svojstva. U ovom radu, kao medij za temperiranje bit će uzeta voda čija su svojstva napisana u tablici 7.4.

Pri određivanju temperature medija za temperiranje potrebno je pretpostaviti temperaturni gradijent između stijenke kalupa i medija za temperiranje. Pretpostavljeni temperaturni gradijent iznosiće $\Delta T_{MK} = 10 \text{ K}$

Tada temperatura medija za temperiranje iznosi:

$$T_M = T_K - \Delta T_{MK} = 318 - 10 = 308 \text{ K} \quad (7.12)$$

Tablica 7.4 Karakteristike medija za temperiranje

Gustoća	ρ_m	998 kg/m ³
Specifični toplinski kapacitet	c_m	4180 J/kgK
Toplinska provodnost	λ_m	0,643 W/mK
Dinamička viskoznost	μ_m	881*10 ⁻⁶ m ² /s

Toplinska difuznost medija za temperiranje dobiva se pomoću izraza[11]:

$$\alpha_M = \frac{\lambda_M}{\rho_M + c_M} = \frac{0,643}{998 \cdot 4180} = 1,54 \cdot 10^{-7} \quad (7.13)$$

Kinematička viskoznost medija za temperiranje [11]

$$\nu_M = \frac{\mu_M}{\rho_M} = \frac{881 \cdot 10^{-6}}{998} = 8,8276 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2 / \text{s} \quad (7.14)$$

Prandlova značajka[11]:

$$P_{rM} = \frac{\nu_M}{\alpha_M} = \frac{8,8276 \cdot 10^{-7}}{1,54 \cdot 10^{-7}} = 5,7322 \quad (7.15)$$

7.1.6. Proračun toplinske bilance kalupa

Pri proračunu toplinske bilance kalupa potrebno je definirati toplinske tokove kroz kalup (slika 4.14). Temeljni izraz za proračun toplinske bilance kalupa jest:

$$\phi_P + \phi_O + \phi_M = 0 \quad (7.16)$$

7.1.6.1. Toplina koju plastomerna taljevina dovede kalupu

Za određivanje količine topline koju plastomerna taljevina preda kalupu, potrebno je primijeniti jednadžbu [11]:

$$\phi_P = \frac{m_g \cdot (h_2 - h_1)}{t_c} \quad (7.17)$$

Pritom se treba izračunati razlika specifičnih entalpija [11]:

$$(h_2 - h_1) = 1000 \cdot [(a_3 \cdot T_T + b_3) - (a_2 \cdot T_{PO} + b_2)] \quad (7.18)$$

$$(h_2 - h_1) = 1000 \cdot [(2,963 \cdot 523 + (-810,37)) - (2,088 \cdot 373 + (-410,2))] = 370\,655 \text{ J/kg}$$

Gdje su: h_2 - specifična entalpija pri temperaturi i tlaku prerade (J/kg), h_1 - specifična entalpija pri prosječnoj temperaturi otpreska u trenutku njegovog napuštanja a_2 , a_3 , b_2 , b_3 - koeficijenti za izračunavanje razlike entalpija, za PP

Toplina koju plastomerna taljevina dovede kalupu iznosi:

$$\phi_p = \frac{0,01073 \cdot 370655}{10,2} = 390 \text{ W}$$

7.1.6.2. Toplina koju kalup razmijeni s okolinom

Za dobivanje iznosa topline koju kalup izmijeni s okolinom prvo je potrebno odrediti temperaturu vanjske stijenke kalupa. Pri tome je moguće koristiti dvije jednačbe [11].

$$T_{VK} = 0,427 \cdot T_O + 0,823 \cdot T_M - 68,96 \quad (7.19)$$

$$T_{VK} = 0,427 \cdot 298 + 0,823 \cdot 308 - 68,96 = 312 \text{ K}$$

$$T_{VK} = T_O + 0,725 \cdot T_M - 211,4 \quad (7.20)$$

$$T_{VK} = 298 + 0,725 \cdot 308 - 211,4 = 310 \text{ K}$$

Propisana temperatura okoline iznosi $T_O = 298 \text{ K}$ (25°C).

Za daljnji proračun uzima se veća vrijednost $T_{VK} - T_O = 312 \text{ K}$

Toplinska prelaznost zračenjem iznosi [11]:

$$\alpha_z = \varepsilon_z \cdot C_z = 0,35 \cdot 5,67 = 1,98 \text{ W/m} \quad (7.21)$$

gdje su: ε_z - sposobnost zračenja realnog tijela (0,25 za sjajno brušeni čelik, 0,5 za lagano oksidiranu površinu; odabrano 0,35 [11], C_z - zračivost apsolutno crnog tijela.

Toplinska prijelaznost uslijed zračenja i konvekcije iznosi [11]:

$$\alpha_{st} = \alpha_z + \alpha_k = 1,98 + 15 = 16,98 \text{ W/m}^2\text{K} \quad (7.22)$$

Površine kalupa potrebne za toplinski proračun kalupa iznose:

$$A_1 = L_K \cdot H_K = 0,296 \cdot 0,196 = 0,06 \text{ m}^2 \quad (7.23)$$

$$A_2 = L_K \cdot B_K = 0,296 \cdot 0,296 = 0,09 \text{ m}^2 \quad (7.24)$$

gdje su: A_1 - površina bočne plohe kalupa, L_K - dužina kalupa, H_K - visina kalupa, A_2 - površina donje (gornje) plohe kalupa, B_K - širina kalupa.

Korigirana vrijednost koeficijenta toplinske prijelaznosti zračenja i konvekcije iznosi [11]:

$$\alpha_{st}^* = \frac{A_1 + A_2}{A_1} \cdot \alpha_{st} = \frac{0,06 + 0,09}{0,06} \cdot 16,98 = 42,45 \text{ W/m}^2\text{K} \quad (7.25)$$

Količina topline izmijenjena između kalupa i okoline konvekcijom i zračenjem iznosi [11]:

$$\begin{aligned} \phi_{st} &= 2 \cdot A_1 \cdot \alpha_{st}^* \cdot (T_{VK} - T_o) = 2 \cdot 0,06 \cdot 42,45 \cdot (310 - 298) = \\ &= 61 \text{ W/m}^2\text{K} \end{aligned} \quad (7.26)$$

Toplinu koju kalup provođenjem izmijeni s nosačima kalupa na ubrizgavalici iznosi [11]:

$$\Phi_V = 2 \cdot A_{KS} \cdot \beta_v^* \cdot (T_{VK} - T_o) \quad (7.27)$$

Korigirani faktor proporcionalnosti određuje se preko izraza [11]:

$$\beta_v^* = \frac{H_{KS} + L_{KS}}{L_{KS}} \cdot \beta_v = \frac{0,296 + 0,296}{0,296} \cdot 0,84 = 168 \text{ W/m}^2\text{K} \quad (7.28)$$

gdje su: β_v^* – korigirani faktor proporcionalnosti, β_v – faktor proporcionalnosti (84 W/m²K),

L_{KS} – duljina stezne ploče kalupa. B_{KS} – širina stezne ploče kalupa.

Količina topline izmijenjena između kalupa i okoline provođenjem kroz stezne ploče kalupa iznosi [11]:

$$\Phi_V = 2 \cdot A_{KS} \cdot \beta_v^* \cdot (T_{VK} - T_o) = 2 \cdot 0,087616 \cdot 168 \cdot (310 - 298) = 353 \text{ W/m}^2\text{K} \quad (7.29)$$

Toplina koju kalup izmijeni sa okolinom iznosi [11]:

$$\Phi_o = \Phi_V + \Phi_{st} = 353 + 61 = 414 \text{ W} \quad (7.30)$$

7.1.7. Dimenzioniranje sustava za temperiranje kalupa

Prvi korak kod dimenzioniranja sustava za temperiranje kalupa je određivanje promjera kanala za temperiranje.

$$d_k = \frac{b_o}{n_{kt} \cdot x_{kt} \cdot \pi} = \frac{103,2}{4 \cdot 1,2 \cdot \pi} = 7,34 \text{ mm} \quad (7.31)$$

Uzeti će se promjer od 8 mm.

Površina kanala za temperiranje računa se:

$$A_{KT} = d_K \cdot l_K \cdot \pi = 8 \cdot 1675 \cdot \pi = 0,04297 \text{ m}^2$$

Optimalna debljine stijenke kalupne šupljine određuje se prema 4 kriterija Prvi kriterij je kriterij na temelju dopuštenog smičnog naprezanja materijala kalupnih ploča ($\tau_{dop} = 90 \text{ N/mm}^2$). [11]

$$s_k = \frac{3 \cdot p_{uk} \cdot d_k}{4 \cdot \tau_{dop}} = \frac{3 \cdot 16 \cdot 8}{4 \cdot 90} = 2,15 \text{ mm} \quad (7.32)$$

Drugi kriterij je kriterij na temelju dopuštenog savojnog naprezanja (npr. $\tau_{dop} = 210 \text{ N/mm}^2$)

$$s_k = \sqrt{\frac{p_{uk} \cdot d_k^2}{2 \cdot \sigma_{dop}}} = \sqrt{\frac{16 \cdot 8^2}{2 \cdot 210}} = 2,56 \text{ mm} \quad (7.33)$$

Treći kriterij se izračunava na temelju toplinskog toga akumulirane topline. Pritom prvo treba izračunati toplinski tok dovođenja topline [11]:

$$\Phi_{pd} = \frac{m_g \cdot (h_2 - h_1)}{t_h} = \frac{0,0113 \cdot 370\,655}{3,2} = 1308 \text{ W} \quad (7.34)$$

Toplinski tok akumulirane topline izračunava se na temelju izraza:

$$\Phi_A = \Phi_{PD} + \Phi_O + \Phi_M = 1308 + 390 + 90 = 1008 \text{ W} \quad (7.35)$$

Za proračun debljine stijenke kalupne šupljine treba pretpostaviti temperaturni gradijent između temperature stijenke kanala za temperiranje i temperature stijenke kalupne šupljine. Pri tome ta razlika treba biti što manja ($T_K - T_{KT}$). Uvjet je i da je temperatura stijenke kanala za temperiranje viša od početne temperature ciklusa injekcijskog prešanja. U ovom slučaju izabire se vrijednost $T_{KT} = 313 \text{ K}$

$$S_k = \frac{\phi_A \cdot t_c}{b_o \cdot l_k \cdot c_k \cdot \rho_k \cdot (T_K - T_{TK})} \quad (7.36)$$

$$S_k = \frac{1008 \cdot 10,2}{0,0466 \cdot 1,675 \cdot 602 \cdot 7850 \cdot (318 - 313)} = 5,57 \text{ mm}$$

gdje su: c_k - specifični toplinski kapacitet materijala kalupnih šupljina (602 J/kgK), ρ_k - gustoća materijala kalupnih šupljina (7850 kg/m^3). Specifični toplinski kapacitet materijala kalupnih šupljina i gustoća materijala kalupnih šupljina se uzima za Četvrti kriterij se računa

na temelju minimalnog i maksimalnog kuta izoterme u kalupnoj ploči- $\beta_{\min} = 25^\circ$ i - $\beta_{\max} = 40^\circ$.

$$S_{k \min} = \left(\frac{b_o}{n_k \cdot \operatorname{tg} \beta_{\max}} - d_k \right) \cdot 0.5 \quad (7.37)$$

$$S_{k \max} = \left(\frac{b_o}{n_k \cdot \operatorname{tg} \beta_{\min}} - d_k \right) \cdot 0.5 \quad (7.38)$$

gdje je: n_k - broj kalupnih šupljina

$$S_{k \min} = \left(\frac{46,6}{2 \cdot \operatorname{tg} 40} - 8 \right) \cdot 0.5 = 9,88 \text{ mm}$$

$$S_{k \max} = \left(\frac{46,6}{2 \cdot \operatorname{tg} 25} - 8 \right) \cdot 0.5 = 20,98$$

U ovom slučaju izabire se četvrti kriterij i debljina stijenke kalupne šupljine iznosi $S_k = 21 \text{ mm}$.

Na kraju potrebno je odrediti i provjeriti progib stijenke kalupne šupljine. Poznati su podaci o vrijednostima modula rastezljivosti i modula smičnosti materijala kalupnih stijenki (čelik) [6]:

- modul rastezljivosti materijala kalupnih ploča E_r - 210 000 N/mm²
- modul smičnosti materijala kalupnih ploča G - 80 000 N/mm²
- dopušteni progib stijenke kalupne šupljine f_{dop} - 0,001 mm

$$f_{\max} \leq \frac{p_K \cdot d_K^2}{s_K} \cdot \left(\frac{d_K^2}{32 \cdot E_r \cdot s_K^2} + \frac{0.15}{G} \right) \quad (7.39)$$

$$f_{\max} \leq \frac{16 \cdot 8^2}{21} \cdot \left(\frac{8^2}{32 \cdot 210000 \cdot 8^2} + \frac{0.15}{80000} \right) = 0,0000098684 \text{ mm}$$

Progib je manji od dopuštenog progiba.

7.1.8. Brzina protoka medija za temperiranje [11]

U ovom koraku bit će određena brzina protoka medija za temperiranje, pad tlaka u kanalima za temperiranje te provjera izbora temperirala. Brzina protoka medija za temperiranje određuje se preko izraza:

$$\alpha_M = \frac{1}{\frac{x_s}{\phi_M} \cdot A_{KT}(T_K - T_M) - \frac{s_K}{\lambda_K}} = \quad (7.40)$$

$$\alpha_M = \frac{1}{2 / 24 \cdot 0.042 \cdot (318 - 308) \cdot \frac{21}{26,75}} = 36,39 \text{ W/m}^2\text{K}$$

gdje su: α_M - toplinska prijelaznost medija za temperiranje, x_s - faktor simetričnosti izmjene, topline, λ_K - toplinska provodnost materijala kalupnih ploča.

Brzina protoka medija za temperiranje određuje se na temelju jednadžbe [11]:

$$v_M = \frac{Re \cdot v_M}{d_{KT}} \quad (7.41)$$

Reynoldsov broj medija za temperiranje moguće je odrediti na temelju jednadžbe [11]:

$$Re = \left(\frac{\alpha_M}{Pr_M^{0.42} \cdot \left(1 + \frac{d_k}{l_{kt}}\right)^{0.67} \cdot 0.0037 \cdot \frac{\lambda_m}{d_k}} + 180 \right)^{\frac{1}{0.75}} \quad (7.42)$$

$$Re = \left(\frac{36,39}{P5,7322^{0.42} \cdot \left(1 + \frac{0,008}{1,675}\right)^{0.67} \cdot 0.0037 \cdot \frac{0,626}{0,008}} + 180 \right)^{\frac{1}{0.75}} = 1492 \quad (7.43)$$

Brzina protoka medija za temperiranje iznosi:

$$v_m = \frac{1492 \cdot 8,82726 \cdot 10^{-7}}{0,008} = 0,16 \text{ m/s} \quad (7.43)$$

Za temperiralo kalupa odabrano je temperiralo tvrtke *Regloplas* oznake *P140* slijedećih karakteristika :

- maksimalna temperatura medija za temperiranje 140 °C
- raspoloživa snaga pri zagrijavanju 9 kW
- raspoloživa snaga pri hlađenju 39 kW
- kapacitet pumpe temperirala 45 l/min
- maksimalni tlak pumpe temperirala 9 bar

$$q_t = \frac{v_m \cdot d_k^2 \cdot \pi}{2} = \frac{0,16 \cdot 0,008^2 \cdot \pi}{2} = 0,965 \text{ l/min} \quad (7.44)$$

Temperaturni gradijent se računa prema izrazu [11]:

$$\Delta T_M = \frac{4\Phi_M}{d_k^2 \cdot c_M \cdot v_M \cdot \rho_M \cdot \pi} = \frac{4 \cdot 90}{0,008^2 \cdot 4174 \cdot 0,16 \cdot 993 \cdot \pi} = 2,7 \text{ K} \quad (7.45)$$

Kako je temperaturni gradijent medija za temperiranje manji od 10 K, parametri zadovoljavaju.

Ulazna temperatura medija za temperiranje računa se prema izrazu:

$$T_{MU} = T_M - \frac{\Delta T_M}{2} = 308 - 2,7/2 = 307,5 \text{ K} \quad (7.46)$$

Izlazna temperatura medija za temperiranje računa se prema izrazu:

$$T_{MI} = T_M + \frac{\Delta T_M}{2} = 308 + 2,7/2 = 310,5 \text{ K} \quad (7.47)$$

Snagu pumpe moguće je proračunati poznavajući pad tlaka u mediju za temperiranje i procijenjenom padu tlaka u temperirajućem mediju.

Pad tlaka u mediju za temperiranje računa se prema izrazu:²

$$\Delta p_{Ka} = \frac{v_M^2}{2} \rho_M \left(\xi \frac{l_{KT}}{d_{KT}} + 1,5 \cdot m_P \right) \quad (7.48)$$

$$\Delta p_{Ka} = \frac{0,16^2}{2} \cdot 993 \cdot \left(0,0429 \cdot \frac{1,675}{0,008} + 1,5 \cdot 8 \right) = 277 \text{ N/m}^2$$

gdje su:

ξ - otpor tečenja kanala, m_P - broj promjena smjera toka medija za temperiranje

Otpor tečenja kanala računa se prema izrazu:

$$\xi = \frac{64}{\text{Re}} = \frac{64}{1492} = 0,0429 \quad (7.49)$$

Pad tlaka u uređaju se procjenjuje na $\Delta p_{\text{Te}} = 50\,000 \text{ N/m}^2$

Pad tlaka u sustavu iznosi:

$$\Delta p_{\text{ST}} = \Delta p_{\text{Ka}} + \Delta p_{\text{Te}} = 277 + 50000 = 50\,277 \text{ N/m}^2 \quad (7.50)$$

Efektivna potrebna snaga pumpe računa se prema izrazu

$$P_{\text{PE}} = \frac{v_M \cdot d_k^2 \cdot \Delta p_{\text{st}} \cdot \pi}{4 \cdot \eta_p} = \frac{0,16 \cdot 0,008^2 \cdot 50323 \cdot \pi}{4 \cdot 0,9} = 0,45 \quad (7.51)$$

gdje je: η_p - faktor iskorištenja pumpe, iznosi 0,9

7.2. Mehanički proračuna kalupa

U okviru mehaničkog proračuna kalupa potrebno je proračunati kinematiku kalupa te odrediti izmjere i deformacije pojedinih elemenata kalupa koji su mehanički opterećeni.

7.2.1. Proračun kinematike kalupa

Pri proračunu kinematike kalupa potrebno je odrediti hod otvaranja kalupa koji osigurava nesmetano vađenje otpreska iz kalupa. Pri tome treba voditi računa o maksimalnom razmaku između steznih ploča ubrizgavalice, kako bi se kalup mogao stegnuti između njih, te otvoriti za potreban hod. Potrebno je proračunati i hodeve elemenata za vađenje otpreska.

Hod otvaranja kalupa određuje se prema jednadžbi [5]:

$$h_{OK} = h_g + h_{op} + h_d = 60 + 12 + 5 = 77 \text{ mm} \quad (7.52)$$

Sljedećim izrazom izračunava se potrebna duljina puta izbacivala otpreska, koja je potrebna da bi se otpresak sigurno izbacio iz kalupa.

$$h_i = h_o + h_{di} = 60 + 13 = 73 \text{ mm}$$

(7.53)

gdje su: h_o - visina otpreska h_{di} - dopunski (sigurnosni) hod izbacivala

7.2.2. Sila vađenja otpreska iz kalupa

$$F_v = \mu \cdot p_K \cdot A_O = 0,2 \cdot 16 \cdot 2543 = 8,14 \text{ kN} \quad (7.54)$$

7.2.3. Proračun krutosti kalupa u smjeru otvaranja

Pri proračunu krutosti kalupa u smjeru otvaranja potrebno je proračunati debljinu temeljne ploče.

Podaci potrebni za proračun su sljedeći:

- duljina temeljne ploče $l_{tp} = 296 \text{ mm}$
- dopušteni progib temeljne ploče $f_{tp} = 0,01 \text{ mm}$
- razmak između odstoynih letvi $b_{tp} = 108 \text{ mm}$,

$$h_{tp} = \sqrt[3]{\frac{5 \cdot F_d \cdot b_{tp}^3}{32 \cdot l_{tp} \cdot f_{tp} \cdot E_r}} = \sqrt[3]{\frac{5 \cdot 8497,6 \cdot 108^3}{32 \cdot 296 \cdot 0,01 \cdot 210000}} = 29,96 \quad (7.55)$$

Za temeljnu ploču izabrana je standardna ploča visine 36 mm.

8. PRORAČUN NEPOTPUNE CIJENE KOŠTANJA OTPRESKA

8.1. Osnovni podaci

Polimerni materijal otpreska Sabic PP 571 P

- Specifična gustoća - $\rho = 1,105 \text{ g/cm}^3$
- Jedinična cijena osnovnog proizvoda - $C_{om} = 15 \text{ kn / kg}$

Količina proizvodnje

- Veličina serije - $n_{ser} = 100\,000$ komada
- Ukupna količina polimernih otpresaka - $n_{uk} = 500\,000$ komada

Ubrizgavalica

- Cijena rada sata ubrizgavalice - $C_{ru} = 45 \text{ kn / h}$
- Cijena radnog sata radnika - $C_{rs} = 20 \text{ kn / h}$

Podaci o otpresku

- Masa grozda - 22,6 g
- Masa otpreska - 12 g
- Masa uljevnog sustava - 2 g
- Broj kalupnih šupljina - 2

Troškovi probne nulte serije

- Veličina probne serije - $n_{serPS} = 1000$ komada
- Broj radnika - $n_r = 1$
- Predvidivi dio škarta - $S_u = 8 \%$
- Pouzdanost postupka - $\mu_P = 92 \%$
- Pripremno završno vrijeme - $t_{pz} = 2 \text{ h}$
- Organizacijski gubici probne serije - $G_{or} = 1,5 \text{ h}$

Troškovi proizvodnje

- Broj radnika - $n_r = 1$
- Predvidivi dio škarta - $S_u = 5 \%$
- Pouzdanost postupka - $\mu_P = 95 \%$

- Pripremno završno vrijeme - $t_{pz} = 2$ h
- Organizacijski gubici probne serije - $G_{or} = 1,5$ h

8.2. Troškovi konstruiranja

Troškove konstruiranja moguće je odrediti na temelju:

- broja radnih sati za pojedinu fazu konstruiranja n_{rki} :
- broj radnih sati konstruiranja kalupa 25 h
- broj radnih sati tehnološke razradbe 30 h

Cijene radnog sata za pojedinu fazu konstruiranja C_{rki} :

- cijena radnog sata konstruiranja 150 Kn
- cijena radnog sata tehnološke razradbe 120 Kn
- ostalih troškova konstruiranja $T_{KONS} = 0$ Kn

Osnovni trošak konstruiranja iznosi [6]:

$$T_{KON} = (\sum n_{rki} \cdot C_{rki}) + T_{KONS} \quad (8.1)$$

$$T_{KON} = (25 \cdot 150 + 30 \cdot 120) + 0 = 7350 \text{ kn}$$

8.3. Troškovi izrade kalupa

Podaci o standardnim dijelovima kalupa i njihovim cijenama dani su u tablici 8.1.

Tablica 8.1 Podatci i dijelovima kalupa i njihovim cijenama

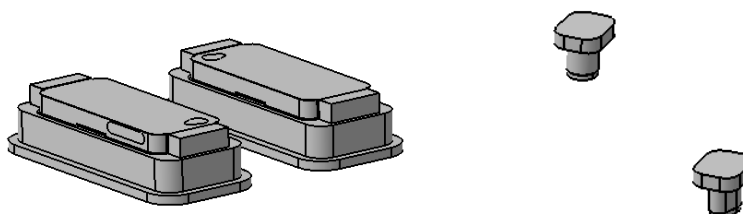
Redni broj	Kataloška oznaka (HASCO)	Element	Komada	Cijena/komad	Ukupno
1	K10/296x296x27	Nepomična stezna ploča	1	178,48	178,48
2	K20/296x296x27	Pomična kalupna ploča	1	208,11	208,11
3	Z00/27/22x35	Vodeći stup	4	15,48	61,92
4	Z31/12x30	Vijak	4	0,52	2,08
5	Z51/18x27/3.5/40	Brtveni prsten	1	35,46	35,46
6	Z01/8x40	Vodeći zatik	2	3	6
7	Z81/9/10x1	Priključna nazuvica	8	0,76	6,08
8	K20/296x296x22	Pomična temeljna ploča	1	142,79	142,79
9	K30/296x296x36	Pomična kalupna ploča	1	183,31	183,31
10	K40/296x296x56	Odstojna letva	1	96,08	96,08
11	K40/296x296x56	Odstojna letva	1	96,08	96,08
12	K10/296x296x27	Pomična stezna ploča	1	178,48	178,48
13	Z20/30x100	Centrirna vitka	4	10,68	42,72
14	Z10/22/22	Bushing za vođenje	4	11,71	46,84
15	Z31/12x120	Vijak sa cilindričnom glavom	4	2,11	8,44
16	Z81/9/10x1	Priključna nazuvica	8	0,76	6,08
17	K60/296x296x12	Ploča izbacivala	1	74,41	74,41
18	K70/296x296x17	Ploča izbacivala	1	89,06	89,06

Tablica 8.1 Nastavak i kraj

19	Z55/18x3	Podložna pločica	4	1,62	6,48
20	Z31/8x16	Vijak sa cilindričnom glavom	4	0,22	0,88
21	Z33/4x8	Vijak sa konusnom glavom	4	0,25	1
22	Z44/0.9x80	Izbacivalo	8	11,59	92,72
23	Z42/8x100	Izbacivalo	4	3,21	12,84
24	K100/100x8	Prsten za centriranje	1	21,69	21,69
25	Z 17 / 22/16	Držać vodič	2	58,84	117,68
26	Z 085/50/33/1	Izvlakač	2	147,92	295,84
Ukupna cijena (euri)					2020,43
Ukupna cijena (kune)					1513,23

Nestandardni dijelovi kalupa su:

Umetci na nepomičnoj strani	17,32 x19,584 (5,142 x11,95)
Umetci na nepomičnoj strani	139,716 x 22,561

**Slika 8.1 Umetci desno, pomična strana;umetci lijevo nepomična strana**

Broj sati pojedine vrste obrade:

- tokarenje 10 h
- bušenje 12 h
- glodanje 40 h
- erodiranje 12 h
- brušenje okruglo 10 h
- brušenje plansko 20 h
- toplinska obrada 25 h
- ručna obrada 15h
- montaža 3 h

Prosječna cijena radnog sata obradbe iznosi $C_{izi} = 150$ Kn

Ukupna cijena obradbe kalupa:

$$T_{iz} = \sum n_{izi} \cdot C_{izi} = 147 \cdot 150 = 22050 \text{ kn} \quad (8.2)$$

Ukupna cijena osnovnog materijala nestandardnih elemenata kalupa

- materijal nestandardnih dijelova kalupa čini čelik $T_{om} = 2500$ Kn

Ukupna cijena standardnih elemenata:

- $T_{sd} = 15153,23$

Ostali troškovi izradbe kalupa (nepredviđeni troškovi dorade ili ispravljanja pogrešaka tijekom izradbe kalupa):

$$T_{KOS} = 3000 \text{ kn}$$

U ove troškove se ubrajaju nepredviđeni troškovi dorade ili ispravljanja pogrešaka u izradbi.

Ukupni troškovi izradbe kalupa:

$$T_{UK} = T_{om} + T_{sd} + T_{iz} + T_{KOS} = 2500 + 15153,23 + 22050 + 3000 = 42703 \text{ Kn.} \quad (8.3)$$

8.4. Troškovi održavanja za jedan otpresak

Predviđeni troškovi održavanja kalupa za proizvodnu seriju $T_{serOD} = 250$ Kn

$$C_{o,serOD} = \frac{T_{serOD}}{n_{ser}} = \frac{250}{10000} = 0,025 \text{ Kn}$$

8.5. Troškovi probne (nulte) serije

8.5.1. Cijena materijala za probnu seriju

Stvarni jedinični utrošak materijala:

$$A = \frac{(m_g - m_{us} \cdot S_{PP})}{n_{ks}} \quad (8.5)$$

gdje je: S_{PP} - udio materijala uljevnog sustava koji se vraća u proizvodnju probne serije.

$$A = \frac{(m_g - m_{us} \cdot S_{PP})}{n_{ks}} = \frac{22,6 - 2 \cdot 0}{2} = 11,3 \text{ g}$$

Stvarni jedinični gubitak materijala zbog škarta

$$B = m_o \cdot S_u \cdot (1 - S_{up}) = 12 \cdot 0,08 \cdot (1 - 0) = 0,96 \text{ g} \quad (8.6)$$

Cijena materijala za jedan otpresak:

$$C_{mo} = C_{om} \cdot (A + B) = 15 \cdot 10^{-3} \cdot (11,3 + 0,96) = 0,1839 \text{ Kn} \quad (8.7)$$

Ukupna cijena materijala za probnu seriju

$$C_{mPS} = C_{mo} \cdot n_{serPS} = 0,1839 \cdot 1000 = 183,8 \text{ Kn} \quad (8.8)$$

8.5.2. Cijena ubrizgavalice za probnu seriju

Trošak ubrizgavalice za jedan otpresak:

$$C_{so} = \left(\frac{t_c}{n_{ks} \cdot \mu_p} + \frac{t_{pz} + G_{or}}{n_{serPS}} \right) \cdot C_{ru} = \left(\frac{0,001733}{2 \cdot 0,92} + \frac{2 + 1,5}{1000} \right) \cdot 45 = 0,20 \text{ Kn/ otpresku} \quad (8.9)$$

Cijena ubrizgavalice za probnu seriju:

$$C_{sPS} = C_{so} \cdot n_{serPS} = 0,20 \cdot 1000 = 200 \text{ kuna} \quad (8.10)$$

8.5.3. Cijena rada za probnu seriju

Trošak rada za jedan otpresak:

$$C_{ro} = \frac{t_c}{n_{ks} \cdot \mu_p} \cdot C_{rs} \cdot n_r = \frac{0,001733}{2 \cdot 0,92} \cdot 20 \cdot 1 = 0,18 \text{ Kn} \quad (8.11)$$

Ukupni trošak rada za probnu seriju:

$$C_{rPS} = C_{ro} \cdot n_{serPS} = 0,18 \cdot 1000 = 180 \text{ Kn} \quad (8.12)$$

8.5.4. *Proizvodna cijena otpresaka probne serije*

Ukupna proizvodna cijena jednog otpreska:

$$C_{oPS} = C_{mo} + C_{so} + C_{ro} = 0,1839 + 0,20 + 0,18 = 0,5369 \text{ Kn} \quad (8.13)$$

Ukupna proizvodna cijena probne serije:

$$C_{PS} = C_{mPS} + C_{sPS} + C_{rPS} = 183,8 + 200 + 180 = 563 \text{ K} \quad (8.14)$$

8.6. Troškovi proizvodnje

8.6.1. *Cijena materijal za proizvodnu seriju*

$$A = \frac{(m_g - m_{us} \cdot S_{pp})}{n_{ks}} = \frac{22,6 - 2 \cdot 0}{2} = 11,3 \quad (8.15)$$

Stvarni jedinični gubitak materijala zbog škarta:

$$B = m_o \cdot S_u \cdot (1 - S_{up}) = 12 \cdot 0,08 \cdot (1 - 0) = 0,96 \text{ g} \quad (8.16)$$

Cijena materijala za proizvodnu seriju za jedan otpresak:

$$C_{mo} = C_{om} \cdot (A + B) = 15 \cdot 10^{-3} \cdot (11,3 + 0,96) = 0,1839 \text{ Kn} \quad (8.17)$$

Ukupna cijena materijala za proizvodnu seriju:

$$C_{mSER} = C_{mo} \cdot n_{serPS} = 0,1839 \cdot 100000 = 18390 \text{ kn} \quad (8.18)$$

8.6.2. *Cijena ubrizgavalice za proizvodnu seriju*

$$C_{so} = \left(\frac{t_c}{n_{ks} \cdot \mu_p} + \frac{t_{pz} + G_{or}}{n_{serPS}} \right) = \left(\frac{0,001733}{2 \cdot 0,92} + \frac{2 + 1,5}{100000} \right) \cdot 45 = 0,044 \text{ Kn} \quad (8.19)$$

Cijena ubrizgavalice za proizvodnu seriju:

$$C_{s,ser} = C_{so} \cdot n_{ser} = 0,44 \cdot 100000 = 4400 \text{ Kn} \quad (8.20)$$

8.6.3. Cijena rada za proizvodnu seriju

Trošak za jedan otpresak:

$$C_{ro} = \frac{t_c}{n_{kš} \cdot \mu_p} \cdot C_{rs} \cdot n_r = \frac{0,001733}{2 \cdot 0,95} \cdot 20 \cdot 1 = 0,0018 \text{ Kn} \quad (8.21)$$

Ukupni trošak rada za proizvodnu seriju

$$C_{r,ser} = C_{ro} \cdot n_{ser} = 0,0018 \cdot 100000 = 1824 \text{ Kn} \quad (8.22)$$

8.6.4. Proizvodna cijena otpresaka proizvodne serije

Ukupna proizvodna cijena jednog otpreska:

$$C_{o,ser} = C_{mo} + C_{so} + C_{ro} = 0,1839 + 0,044 + 0,0018 = 0,2297 \quad (8.23)$$

Ukupna proizvodna cijena serije:

$$C_{P,ser} = C_{m,ser} + C_{s,ser} + C_{r,ser} = 18390 + 4400 + 1824 = 24614 \text{ Kn} \quad (8.24)$$

8.6.5. Prosječna cijena otpreska probne (nulte) i proizvodne serije

Prosječna cijena otpreska probne i proizvodne serije:

$$C_{o,PR} = \frac{\frac{n_{serPS} + n_{ser}}{C_{oPr} + C_{o,ser}}}{\frac{n_{serPS}}{C_{oPr}} + \frac{n_{ser}}{C_{o,ser}}} \quad (8.25)$$

$$C_{o,PR} = \frac{\frac{1000 + 100000}{0,5369 + 0,2297}}{\frac{1000}{0,5369} + \frac{100000}{0,2297}} = 4,33 \text{ Kn}$$

Nepotpuna cijena koštanja otpreska:

$$C_{o,PR} = \frac{T_{KON} + T_{UK} + T_{KS}}{n_{uk}} + C_{o,serOD} + C_{oPR} = \frac{7350 + 42703 + 0,0025 + 4,33}{500000} = 0,12 \text{ Kn} \quad (8.26)$$

9. ZAKLJUČAK

Injekcijsko prešanje zbog mogućnosti da u jednom komadu proizvede kompleksan proizvod stavlja se ispred mnogih drugih postupaka izrade proizvoda. Današnje doba postavlja visoke zahtjeve na brzinu, kvalitetu i ekonomičnost proizvoda.

U ovome radu, pomoću metodičkog konstruiranja kalupa za injekcijsko prešanje plastomera, konstruiran je kalup za zadani otpresak, te su izvršeni reološki, toplinski i mehanički proračuni. Na kraju je napravljen proračun za nepotpunu cijenu koštanja zadanog otpreska. Pri konstruiranju kalupa važno je da se što veći brojdijelova kalupa uzima iz kataloga tvrtki koje su specijalizirane za proizvodnju kalupa za injekcijsko prešanje jer se time smanjuje konačna cijena dijelova kalupa. Uz metodički pristup konstruiranju, pomoć računala je uvelike ubrzala konstrukciju kalupa za injekcijsko prešanje, a alati poput AutoDesk MoldFlow-a su omogućili i simulacije injekcijskog prešanja te vrlo detaljne analize otpresaka. Računalni alati omogućuju da se vidi utjecaj promjene parametara prerade na proces injekcijskog prešanja i kvalitetu otpreska.

10. LITERATURA

- [1] Čatić, I. : Proizvodnja polimernih tvorevina, Društvo za plastiku i gumu, Zagreb, 2006.
- [2] <http://www.toolcraft.co.uk/helpmldgproc.htm>, 11.04.2015
- [3] Godec, D.: Doktorska disertacija, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2005.
- [4] http://www.custompartnet.com/wu/images/im/injectionMolding_mold_base.png, 11.04.2015
- [5] Godec, D.: Magistarski rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2000.
- [6] Grgić, B.: Diplomski rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2012
- [7] Menges G., Mohren P.: "Spritzgieß-Werkzeuge, Anleitung zum Bau von Spritzgieß-Werkzeugen", Carl Hanser Verlag, München, 1991.
- [8] Rogić A., Čatić I.: "Injekcijsko prešanje polimera", Društvo plastičara i gumaraca, Zagreb, 1996
- [9] http://web.mit.edu/2.810/OldFiles/ts_temp/Injection_Molding1.ppt, 12.04.2015
- [10] D. Godec, M. Šercer, G. Osrečki: Konstruiranje kalupa za injekcijsko prešanje otpreska sunutrašnjim navojem, strukovni članak
- [11] 7. Čatić, I.: *Izmjena topline u kalupima za injekcijsko prešanje plastomera*, Društvo plastičara i gumaraca, Zagreb, 1985.
- [12] <http://www.sabic.com/corporate/en/productsandservices/plastics/pp-injection-molding-homopolymers>
- [13] www.kraussmaffei.com

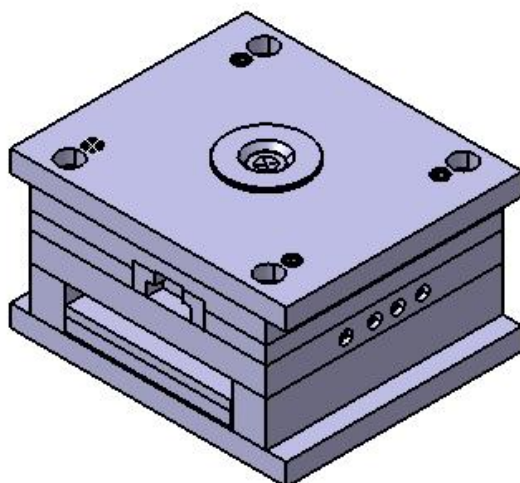
11. PRILOZI

11.1. CD-R disc

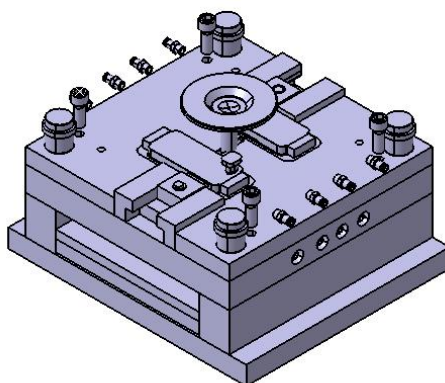
11.2. Radionički crtež maske za mobitel

11.3. Vizualni prikaz kalupa za injekcijsko prešanje zadanog otpreska

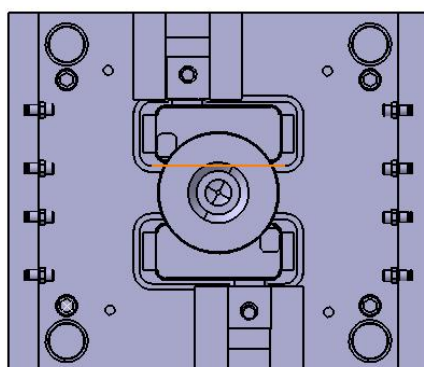
11.4. Crtež kalupa



Slika 11.1 Model kalupa 1



Slika 11.2 Model kalupa 2



Slika 11.3 Model kalupa 3